This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

**Usage guidelines**

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

**About Google Book Search**

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

**Über dieses Buch**

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

**Nutzungsrichtlinien**

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

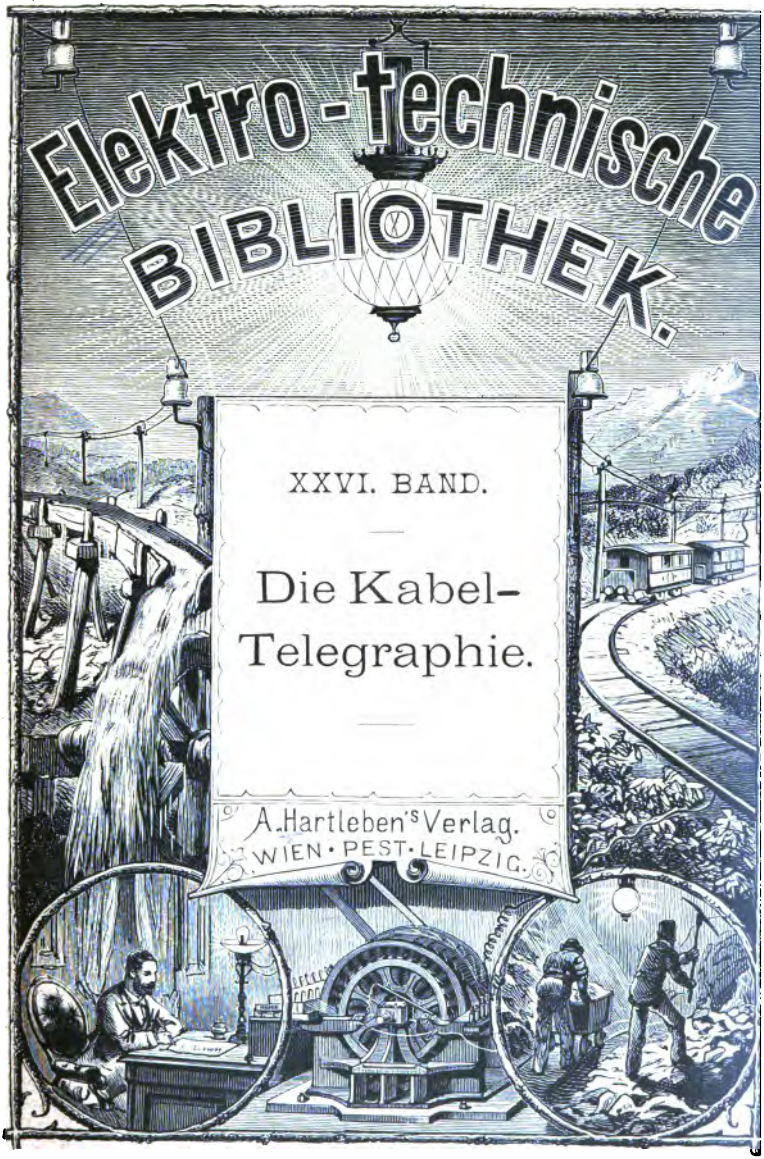
**Über Google Buchsuche**

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

GODFREY LOWELL CABOT SCIENCE LIBRARY
*of the Harvard College Library*

This book is
FRAGILE
and circulates only with permission.
Please handle with care
and consult a staff member
before photocopying.

Thanks for your help in preserving
Harvard's library collections.


Elektro-technische
BIBLIOTHEK.
XXVI. BAND.
Die Kabel-
Telegraphie.
A. Hartleben's Verlag.
WIEN · PEST · LEIPZIG.

INA 291585

# A. Hartleben's Elektro-technische Bibliothek.

In reich illustrirten Bänden, geheftet à 1 fl. 65 kr. = 3 Mark = 4 Francs = 1 R. 80 Kop.
Elegant gebunden à 2 fl. 20 kr. = 4 Mark = 5 Fr. 35 Cts. = 2 R. 40 Kop.

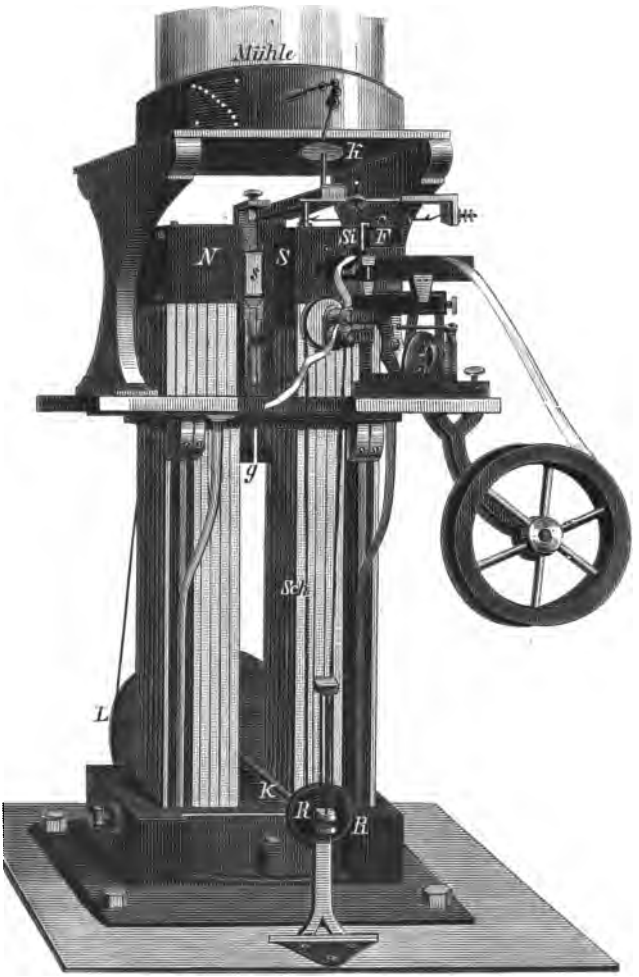
Inhalt der Sammlung.

I. Band. **Die magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen** und die sogenannten Secundär-Batterien, mit besonderer Rücksicht auf ihre Construction. Von Gustav Glaser-De Cew. Vierte Auflage. — II. Band. **Die elektrische Kraftübertragung** und ihre Anwendung in der Praxis, mit besonderer Rücksicht auf die Fortleitung und Vertheilung des elektrischen Stromes. Von Eduard Japing. Zweite Auflage. — III. Band. **Das elektrische Licht.** Von Dr. A. v. Urbanitzky. Zweite Auflage. — IV. Band. **Die galvanischen Batterien, Accumulatoren und Thermosäulen.** Eine Beschreibung der hydro- und thermo-elektrischen Stromquellen mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von W. Ph. Hauck. Zweite Auflage. — V. Band. **Die Verkehrs-Telegraphie,** mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von J. Sack. — VI. Band. **Telephon, Mikrophon und Radiophon,** mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von Theodor Schwartze. Zweite Auflage. — VII. Band. **Die Elektrolyse, Galvanoplastik und Reinmetallgewinnung,** mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendung in der Praxis. Von Eduard Japing. Zweite Auflage. — VIII. Band. **Die elektrischen Mess- und Präcisions-Instrumente.** Ein Leitfaden der elektrischen Messkunde. Von A. Wilke. Zweite Auflage. — IX. Band. **Die Grundlehren der Elektricität,** mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von W. Ph. Hauck. — X. Band. **Elektrisches Formelbuch** mit einem Anhange, enthaltend die elektrische Terminologie in deutscher, französischer und englischer Sprache. Von Prof. Dr. P. Zech. — XI. Band. **Die elektrischen Beleuchtungs-Anlagen,** mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Ausführung. Von Dr. A. von Urbanitzky. Zweite Auflage. — XII. Band. **Die elektrischen Einrichtungen der Eisenbahnen und das Signalwesen.** Von L. Kohlfürst. — XIII. Band. **Die elektrischen Uhren und die Feuerwehr-Telegraphie.** Von Dr. A. Tobler. — XIV. Band. **Die Haus- und Hôtel-Telegraphie.** Von O. Canter. — XV. Band. **Die Anwendung der Elektricität für militärische Zwecke.** Von Dr. Fr. Wächter. — XVI. Band. **Die elektrischen Leitungen und ihre Anlage für alle Zwecke der Praxis.** Von J. Zacharias. — XVII. Band. **Die elektrische Eisenbahn** bezüglich ihres Baues und Betriebes. Von Josef Krämer. — XVIII. Band. **Die Elektro-Technik in der praktischen Heilkunde.** Von Prof. Dr. Rud. Lewandowski. — XIX. Band. **Die Spannungs-Elektricität, ihre Gesetze, Wirkungen und techn. Anwendungen.** Von Prof. K. W. Zenger. — XX. Band. **Die Weltliteratur der Elektricität und des Magnetismus, 1860—1883.** Von G. May. — XXI. Band. **Die Motoren der elektrischen Maschinen** mit Bezug auf Theorie, Construction und Betrieb. Von Th. Schwartze. — XXII. Band. **Die Generatoren hochgespannter Elektricität.** Von Prof. Dr. J. G. Wallentin. — XXIII. Band. **Das Potential und seine Anwendungen** bei der Erklärung elektrischer Erscheinungen. Von Dr. O. Tumlirz. — XXIV. Band. **Die Unterhaltung und Reparatur der elektrischen Leitungen.** Von J. Zacharias. — XXV. Band. **Die Mehrfachtelegraphie auf Einem Drahte.** Von A. E. Granfeld. — XXVI. Band. **Die Kabeltelegraphie.** Von M. Jüllig. — u. s. w., u. s. w.

Jeder Band ist für sich vollkommen abgeschlossen und einzeln käuflich.
Preis geheftet à 1 fl. 65 kr. = 3 Mark = 4 Francs = 1 R. 80 Kop.; elegant gebunden à 2 fl. 20 kr. = 4 Mark = 5 Fr. 35 Cts. = 2 R. 40 Kop. Die Sammlung kann auch in Lieferungen à 30 Kr. = 60 Pf. = 80 Cts. = 36 Kop. bezogen werden.

Einzelne Werke werden nur in der Bandausgabe ausgegeben.
Einbanddecken pro Band 40 Kr. = 75 Pf. = 1 Fr. = 45 Kop.

**A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.**




W. Thomson's Syphon-Recorder.

Die

# KABELTELEGRAPHIE.

---

Von

**Max Jüllig,**

Dipl. Ingenieur, Docent an der k. k. technischen Hochschule in Wien,
k. k. Lieutenant a. D.

*Mit 90 Abbildungen.*

WIEN, PEST, LEIPZIG.
A. HARTLEBEN'S VERLAG.
1884.

~~V, 2664~~
Eng 4258.84
MAR 23 1885

Alle Rechte vorbehalten.

Druck von Friedrich Jaspor in Wien.

# Vorwort.

Fast drei Decennien sind verflossen, seit es dem schöpferischen Genius eines Cyrus Field gelang, durch die glückliche Vollendung des ersten transatlantischen Kabels die Schranken zu durchbrechen, welche Zeit und Raum zwischen der alten und neuen Welt gezogen hatten. Wie alle grossen Errungenschaften menschlichen Strebens und Schaffens, so war auch diese die Frucht vieljähriger, oft mit grossen materiellen Opfern erkaufter Bemühungen und Arbeiten, und die Entwicklungsgeschichte der Kabeltelegraphie bildet einen hochinteressanten Theil der Culturgeschichte des XIX. Jahrhunderts. Ich habe mich bemüht, im ersten und zweiten Abschnitte dieses kleinen Buches die historische Entwicklung der Kabeltelegraphie von ihren ersten Anfängen bis zu ihrem heutigen Stande zu schildern.

Naturgemäss musste mit den Erdkabeln der Anfang gemacht werden, da an ihnen die wichtigsten Erfahrungen gesammelt wurden, auf Grund deren erst die ehrfurchtgebietenden gewaltigen Oceankabel-Unternehmungen ins Leben treten konnten. Ausserdem enthalten die beiden Abschnitte eine gedrängte Darstellung der technischen Operationen, welche bei der Erzeugung und Verlegung

der unterirdischen und unterseeischen Kabel in Betracht kommen.

Der dritte Abschnitt behandelt die elektrischen Erscheinungen in Kabeln, insoweit dieselben — des Verständnisses halber — nicht schon in den beiden vorhergehenden Abschnitten eingeflochten erscheinen.

Im vierten Abschnitte werden die Sprechapparate der Kabeltelegraphie behandelt. Dabei musste jedoch von der Beschreibung jener Kabelsprecher, welche aus den für Luftleitungen bestimmten Apparaten durch geringe Modification entstehen, und zum Betriebe kürzerer Kabelstrecken dienen, Umgang genommen werden, da sonst auch die gewöhnlichen Landtelegraphen ausführlich hätten behandelt werden müssen.

Bezüglich der letzteren, sowie deren Modification für die Zwecke der Kabeltelegraphie, verweise ich auf den V. Band der Elektrotechnischen Bibliothek. Meinen wissenschaftlichen Freunden danke ich herzlich für die mir gewährte Unterstützung, ebenso dem Herrn Verleger für die treffliche Ausstattung des kleinen Werkes. Ich übergebe dasselbe der Oeffentlichkeit mit der Bitte, mich auf Fehler und Mängel aufmerksam zu machen, mit dem Wunsche, dass dieses Buch ein nicht unnützes Rädchen im grossen, niemals rastenden Uhrwerke des Culturfortschrittes bilden möge.

**Der Verfasser.**

# Inhalts-Verzeichniss.


Seite

I. Abschnitt: **Die unterirdischen Leitungen** . . . . . 1
1. Die ersten Versuche mit unterirdischen Leitungen . . . 1
2. Anwendung der Guttapercha . . . . . 5
3. Versuche von Siemens . . . . . 7
4. Herstellung der Guttaperchahülle . . . . . 11
5. Weitere Ausbreitung der unterirdischen Leitungen . . . 14
6. Vergleich zwischen den oberirdischen und unterirdischen Linien . . . . . 17
7. Constructionselemente der Kabel . . . . . 23
8. Isolirung der Kabelseele . . . . . 31
9. Eigenschaften der Guttapercha . . . . . 36
10. Schutzmittel für unterirdische Leitungen . . . . . 44
11. Landkabel mit Drahtschutz . . . . . 46
12. Verlegung unterirdischer Kabel . . . . . 49
13. Verbindung der Kabeladern . . . . . 53

II. Abschnitt: **Die unterseeischen Leitungen** . . . . . 56
1. Geschichtliches . . . . . 56
2. Kabellegung bei grosser Meerestiefe . . . . . 62
3. Das atlantische Kabel . . . . . 65
4. Einrichtung der Kabelschiffe . . . . . 96
5. Theorie der Kabellegung . . . . . 104
6. Die neueren atlantischen Kabel . . . . . 121
7. Die Kabelverbindungen nach den englischen Colonien . 128
8. Sonstige bemerkenswerthe Kabelverbindungen . . . . . 134

Seite

III. Abschnitt: **Die elektrischen Erscheinungen in Kabeln** . 136
1. Die elektrischen Einheiten . . . . . 136
2. Der Isolationswiderstand . . . . . 148
3. Die Ladungserscheinungen . . . . . 162
4. Die Thomson'schen Curven . . . . . 168
5. Anwendung von Wechselströmen . . . . . 184
6. Inductionserscheinungen in Kabeln . . . . . 186
7. Bestimmung der Capacität . . . . . 188
IV. Abschnitt: **Die Apparate der Kabeltelegraphie** . . . . . 196
1. Uebersicht . . . . . 196
2. Spiegelgalvanometer von Thomson . . . . . 198
3. Schaltung der Kabelstationen . . . . . 204
4. Automatische Fixirung der telegraphischen Lichtzeichen . 212
5. W. Thomson's Heberschreibapparat . . . . . 217
6. Undulator von Lauritzen . . . . . 240
7. Russschreiber von Siemens . . . . . 245
8. Gegensprechen auf Kabellinien . . . . . 249

# Illustrations-Verzeichniss.


| Fig. | | Seite |
|---|---|---|
| 1. | Apparat zur Bestimmung des Isolationswiderstandes | 9 |
| 2. | Schematische Zeichnung zur Erläuterung des Begriffes »Isolationswiderstand« | 10 |
| 3. | Guttaperchapresse | 12 |
| 4. | Querschnittsform der Kabelseele | 24 |
| 5. | Stromverzweigungs-Schemá | 27 |
| 6. | Schematische Zeichnung zur Berechnung des Widerstandes der Kabelseele | 28 |
| 7. | Querschnitt einer Kautschuk-Isolirung | 35 |
| 8. | » eines siebenlitzigen Erdkabels | 47 |
| 9. | » » » Flusskabels | 48 |
| 10. | » » vierlitzigen Kabels | 48 |
| 11. | Kabelwagen | 50 |
| 12. | Querschnitt eines gemauerten Kabelgrabens | 52 |
| 13. | Verbindung zweier Kabelenden und Schutzmuffe | 54 |
| 14. | Kabel der »Electric and International Telegraph-Company« | 60 |
| 15. | Prüfungsverfahren während der Versenkung eines vierlitzigen Seekabels | 64 |
| 16 u. 17. | Das transatlantische Kabel vom Jahre 1857 | 67 |
| 18. | Atlantisches Tiefseekabel vom Jahre 1865 | 76 |
| 19. | » Uferkabel mit doppelter Eisenschutzhülle | 78 |
| 20. | Grapnelanker | 85 |
| 21. | Atlantisches Tiefseekabel vom Jahre 1866 | 87 |
| 22. | » Küstenkabel vom Jahre 1866 | 87 |
| 23. | Drahtseil zur Befestigung der Kabelfischanker | 88 |
| 24. | Kabelfischanker mit Springfeder | 89 |

Fig. Seite
25. Dynamometer . . . . . 97
26. Kabelbremse . . . . . 98
27. Verticaler Längenschnitt eines Kabelschiffes . . . . . 101
28—33. Schnitte eines Kabelschiffes . . . . . 103
34—36. Schematische Figuren zur Theorie d. Kabellegung 105, 108, 110
37. Querschnitt des »Direct-United-States-Cable« . . . . . 123
38. Oceankabel mit Messingschutzhülle . . . . . 133
39. Schematische Zeichnung zur Definition der mechanischen Masseinheiten . . . . . 138
40. Schematische Zeichnung zur Definition des »Ampère« . . . 142
41. Querströme in hohlcylindrischen Leitern . . . . . 149
42. Schematische Zeichnung zur Theorie der Elektricitätsbewegung in Kabeln . . . . . 152
43 u. 44. Graphische Darstellung der Stromstärke und elektrischen Spannung in Kabeln . . . . . 156
45. Schematische Zeichnung zur Theorie der Entladung eines Condensators . . . . . 166
46. Die Thomson'schen Curven . . . . . 173
47. Die Curven des ansteigenden Stromes . . . . . 176
48. Graphische Darstellung der variablen elektrischen Spannung in verschiedenen Punkten eines Kabels . . . . . 180
49. Graphische Darstellung der variablen Stromintensität in verschiedenen Punkten eines Kabels . . . . . 181
50. Varley's künstliches Kabel . . . . . 183
51. Stromcurven . . . . . 184
52. Die Sinuswelle . . . . . 185
53. Telephonverbindung mit offenem Stromkreis . . . . . 187
54. Capacitätsbestimmung nach de Sauty . . . . . 190
55. » » Thomson . . . . . 193
56. Schema eines Galvanometers . . . . . 197
57. Sprechgalvanometer von Gauss . . . . . 199
58. » » Thomson . . . . . 200
59. Gang der Lichtstrahlen zwischen Lichtquelle, Spiegelgalvanometer und Scale . . . . . 202
60. Lampe, Scale und Linse, auf einem Gestelle montirt (nach Siemens) . . . . . 203

| Fig. | | Seite |
|---|---|---|
| 61. | Sprechgalvanometer mit Glycerindämpfung | 204 |
| 62. | Schaltung einer modernen Kabelstation | 205 |
| 63. | Schaltung einer Kabelstation mit Spiegelgalvanometer | 209 |
| 64 u. 65. | Schematische Zeichnungen zum Doppelstiftschreiber | 210 |
| 66. | Siemens' Doppelstiftschreiber | 211 |
| 67. | Radiometer | 215 |
| 68. | » zum Empfangen von Kabeldepeschen | 216 |
| 69. | Schwingende Spule in Thomson's Syphon-Recorder | 217 |
| 70. | Thomson's Alphabet | 218 |
| 71. | Elektrische Mühle (mouse-mill) | 219 |
| 72. | Interruptor zur mouse-mill | 221 |
| 73. | Thomson's Syphon-Recorder. Seitenansicht | 224 |
| 74. | » » » Vorderansicht | 226 |
| 75. | Aufhängevorrichtung für die schwingende Spule und den Heber in Thomson's Syphon-Recorder | 228 |
| 76. | Aufhängevorrichtung für den Heber an Thomson's Syphon-Recorder | 229 |
| 77. | Stromlauf in den Elektromagneten des Heberschreibapparates von Thomson | 233 |
| 78. | Schaltung zweier, mit Syphon-Recorders ausgerüsteten Kabelstationen | 234 |
| 79. | Interruptor von Jamieson | 237 |
| 80 u. 81. | Schnitte des Undulators von Lauritzen | 241 |
| 82. | Undulator von Lauritzen | 242 |
| 83. | Alphabet für den Undulator von Lauritzen | 244 |
| 84. | Siemens' Russschreiber (Schnitte) | 244 |
| 85. | » » (Ansicht) | 246 |
| 86. | Gegensprechschaltung von Maron | 249 |
| 87. | Schema der Wheatstone'schen Brücke | 250 |
| 88. | Gegensprechschaltung nach Muirhead | 252 |
| 89. | Bestandtheile eines »künstlichen Kabels« nach Muirhead und Taylor | 255 |

Titelbild: W. Thomson's Syphon-Recorder.

# Sachregister.


Ampère 143.
Bardonnaut's photographischer Kabelreceptor 212.
Beschleunigung der Schwere 139.
Beschleunigungseinheit 139.
Bleipresse 45.
Capacität 146, 188.
Capacitätsmessung nach De Sauty 190.
— nach Siemens 192.
— nach Thomson 193.
Chameroy's photographischer Kabelreceptor 213.
Coulomb 145.
Curven d. ansteigenden Stromes 176.
Dielektricitätsconstante 163.
Doppelstiftschreiber 209.
Doppeltaster 205.
Dynamometer 97.
Dyne 139.
Elektrische Einheiten 136, 147.
Elektrische Mühle (mouse-mill) 219.
Entladung eines Condensators 166.
Erg 140.
Farad 146.
Flusskabel 48.
Gegensprechen auf Kabellinien 249.
Geschwindigkeitseinheit 137.
Great Eastern 79.
Guttapercha 5, 31, 36.
Guttaperchapresse 11.
Import an Guttapercha in England 5.
— an Kautschuk in England 34.
Inductionserscheinungen in Kabeln 187.
Interruptor von Jamieson 236.
Isolationswiderstand 148.
Isonandra 6.
Kabelbremse 98.
Kabel des Deutschen Reiches 49.
Kabelmodell 120.
Kabelmuffe 54.
Kabelschiff 96.
Kabelverbindungen nach den englischen Colonien 128.
Kabelwagen 50.
Kautschuk 5, 32.
Kettenlinie 105.
Kosten unterirdischer Leitungen 14, 18, 22.
— unterseeischer Leitungen 75, 77.
Kupferwiderstand 24.
Ladungserscheinungen 162.
Ladungsstrom 11.
Ladungszeit 174.
Landkabel mit Drahtschutz 46.
Lauritzen's Undulator 240.
Leitungswiderstand der Guttapercha 38.
Litze 23.
Luftleitungen 18.

Mikrofarad 146.
Ohm 145.
Radiometrischer Kabelreceptor 216.
Russschreiber von Siemens 245.
Schaltung der Kabelstationen 233.
Schutzmittel für unterirdische Leitungen 44.
Sinuswelle 185.
Slack 110.
Spiegelgalvanometer von Thomson 198.
Steinheil's Alphabet 211.
Syphon-Recorder von W. Thomson 217.
Theorie der Kabellegung 104.
Thomson's Alphabet 218.
— Curven 173.
— Heberschreibapparat 217.
Undulator von Lauritzen 240.
Verbindung der Kabeladern 53.
Verlegung der Erdkabel 51.
Volt 145.
Weber 147.
Wechselströme 184.

# Namenregister.

Armstrong 57.
Ayrton 32.
Bardonnaut 212.
Biot 142.
Böckmann 1.
Brett 58, 63.
Bright 37.
Brookes 109.
Canning 67.
Chameroy 213.
Chauvain 17.
Clark 37.
Coulomb 145.
Crookes 215.
De Sauty 190.
Dub 197.
Faraday 74, 123, 162.
Felten und Guillaume 49.
Field 66.
Fröhlich 39, 150.
Gauss 2.
Glass 67.
Henley 130.
Henneberg 90, 124, 135.
Hipp 161.
Hooker 6.
Hooper 34, 123.
Jakobi 3.
Jamieson 236.
Jenkin 257.
Joule 143.
Kareis 220.
Kempe 161.
Kramer 162.
Laplace 142.
Lauritzen 240.
Lesage 1.
Longridge 109.
Mackey 126.
Maron 249.
Matthiessen 23.
Maury 69.
Montgomerie 5.
Morse 56, 66.
Mousson 25.
Muirhead 249.
Ohm 145.
O'Shaughnessy 16.

Oxley 6.
Perry 32.
Reusser 1.
Ronalds 2.
Sabine 122.
Saunders 208.
Savart 142.
Schellen 197.
Schilling von Cannstadt 2.
Siemens 7, 9, 45, 61, 64, 109, 120, 122, 129, 162, 186, 192, 202, 209, 245.
Sömmering 1.
Stearns 253.
Steinheil 15, 211.
Stephan 22.
Ternant 238.
Thomson 72, 157, 168, 173, 193, 198, 199, 217.
Tobler 208.
Uppenborn 161, 163.
Varley 80, 162, 182, 183.
Vorsselmann 2.
Walker 57.
Warren de la Rue 102.
Weber 147.
Wheatstone 56, 162, 249.
Whitehouse 68.
Willoughby Smith 95.
Zetzsche 5, 10, 15, 30, 41, 57.

# I. Abschnitt.

## Die unterirdischen Leitungen.

### 1. Die ersten Versuche mit unterirdischen Leitungen.

Der Gedanke, Leitungsdrähte, welche zur Fortführung des elektrischen Stromes dienen, mit einer isolirenden Hülle zu umgeben und dieselben derart geschützt in die Erde zu vergraben oder ins Wasser zu versenken, ist eben so alt, als die erste Idee eines Telegraphen, dessen Betriebskraft durch den Strom einer Volta'schen Säule gebildet wird.

Schon 1774 machte Lesage in Genf den Vorschlag, glasirte Thonröhren in Anwendung zu bringen, die in Entfernungen von je einer Toise Scheidewände aus gleichem Material enthielten. Die Scheidewände sollten mit Löchern versehen werden, durch welche man die Drähte durchzuziehen beabsichtigte.

In Deutschland waren es Reusser und Böckmann in Kassel, welche im Jahre 1794 unterirdische Leitungen vorschlugen.

Sömmering, der Erfinder des ersten chemischen Telegraphen (1809), überzog einen Draht mit Kautschuk-

lösung, um die Leitung ohne Elektricitätsverlust durch tiefe Gewässer führen zu können. Ronalds in England führte einen Draht in Glasröhren, die in mit Pech ausgekleideten Trögen lagen.

Den Physikern, welche sich zu Beginn dieses Jahrhunderts mit den Problemen des elektrischen Telegraphen befassten, waren eben noch die Erfahrungen in frischer Erinnerung, die man mit der Reibungselektricität gemacht hatte, die vermöge der hohen Spannung, welche sie bei den damals noch höchst unvollkommenen Beobachtungsmethoden haben musste, um überhaupt wahrnehmbar zu sein, ausserordentlich rasch durch Ausstrahlung in die Luft verloren ging. Es lag also wohl der Gedanke nahe, diese Ausstrahlung durch ein elektricitätsdichtes Medium zu verhindern.

Die wenigen oberirdischen Leitungen, welche in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts entstanden, waren — nach heutigen Begriffen — nahezu so viel wie gar nicht isolirt. So z. B. lagen die Leitungsdrähte, welche Gauss und Weber zur Verbindung der Sternwarte in Göttingen mit dem physikalischen Institute daselbst gezogen hatten, auf Filzplatten, die zwar bei trockenem Wetter eine höchst mittelmässige Isolation boten, bei Regen aber vollständig mit Wasser durchtränkt, eine vollkommene Ableitung des elektrischen Stromes zu den ebenfalls mit leitender Flüssigkeit bedeckten Holzsäulen bildeten. An ähnlichen Mängeln litten die Leitungen, welche von Schilling v. Cannstadt, nachher von Vorsselmann erbaut waren.

Alle diese Erfahrungen drängten zur weiteren Vervollkommnung der unterirdischen Leitungen. 1842 stellte

Jakobi in St. Petersburg Versuche in grösserem Massstabe an. Eine Probeleitung wurde unter dem Admiralitätsplatze angelegt, wobei der Draht in eine eigenthümlich geformte Hülse aus Eisenblech eingekittet war. Die Isolirung erwies sich jedoch unvollkommen, und so entschloss sich Jakobi, Glasröhren zu verwenden, obwohl derartiges Material zu diesem Zwecke bisher noch nie in grösserem Massstabe Anwendung gefunden hatte, somit auch keinerlei praktische Erfahrungen vorlagen. Die Röhren waren im Mittel 5 Fuss lang und $^3/_4$ Zoll weit. Die Enden waren matt geschliffen und mit einander durch aufgesteckte Kautschukröhren verbunden, so dass das ganze System leicht jeder Bewegung des Terrains folgen konnte.

Die Röhren wurden anfänglich auf flach gelegte, nach der Rundung der Röhren ausgehauene Ziegel gelegt. Später zog man es vor, die Ziegel ganz wegzulassen, die Röhren auf eine Lage feinen Sandes zu betten und dieselben mit einer 6 Zoll hohen, von Steinen sorgfältig gereinigten Sandschicht zu bedecken. Die Leitung lag in einer mittleren Tiefe von 21 Zoll. Es wäre allerdings besser gewesen, die Röhren noch mit einem hölzernen Kasten zu umgeben; hierdurch wären aber die Kosten bedeutend angewachsen und das Holz hätte sich, der abwechselnden Feuchtigkeit unterworfen, nicht lange erhalten. Um dem Einwande zu begegnen, dass diese Röhren durch die Erschütterung darüber fahrender Wägen beschädigt werden könnten, liess Jakobi eine kurze Röhrenstrecke etwas weniger tief eingraben und darüber einen schweren Ambos bringen, auf welchem mit Schmiedehämmern von beiläufig einem

Kilo Gewicht ein Stück Eisen ausgeschmiedet wurde. Die Erschütterungen pflanzten sich horizontal durch das Pflaster sehr kräftig fort; die Röhren hingegen hatten, wie sich dies dann beim Ausgraben zeigte, nicht im mindesten gelitten; auch hatte ihre Lage keine merkliche Verschiebung erlitten. Die Stärke der verwendeten Kupferdrähte ergibt sich aus der Angabe, dass ein Draht von 1 Werst (gleich 1066·78 Meter) Länge 45 Pfund*) wog, mit 1·6 mm. Zur Isolirung diente nebst der Glashülle eine Umspinnung mit starkem Zwirn. Die umsponnenen Drähte wurden in ein geschmolzenes Gemenge von Wachs, Harz und Talg eingetaucht, nochmals umsponnen und dann wieder mit der nämlichen Masse bestrichen. In einer Röhre lagen vier solche Drähte nebeneinander. Je zwei dienten einem gesonderten Telegraphensystem.**) Die Isolirung bewährte sich nicht, da manche Glasröhren, die in bewegliches Terrain versenkt waren, brachen. 1843 führte Jakobi eine unterirdische Leitung von $3^1/_2$ geographischen Meilen Länge zwischen Petersburg und Zarskoeselo.

Der Draht wurde mit einem Kautschukstreifen von beiläufig $1^1/_2$ cm Breite umwickelt, mit Jeffreyschem Marineleim aus Kautschuk und Asphalt bestrichen und schliesslich mit einer doppelten Bewickelung von Kautschukstreifen, deren Ränder sich überdeckten, bewickelt.***)

*) 1 russisches Pfund = 409·531 Gramm.

**) Pogg. Ann. 58, Seite 410. Dub, Telegraphie.

***) Polytechn. Centralblatt 1884. 4. Zetzsche, Handbuch der Telegraphie. I. Bd., S. 485.

## 2. Anwendung der Guttapercha.

Wenngleich Kautschuk zu den vorzüglichsten Isolatoren gerechnet werden muss, bewährten sich dennoch die ausschliesslich mit diesem Stoffe isolirten unterirdischen Leitungen keineswegs längere Zeit, da das Kupfer der Kabelseele*) in unmittelbarer Berührung mit Kautschuk eine chemische Veränderung seiner Oberfläche erfährt, die auch auf das Innere der Kautschukmasse nachtheilig einwirkt.

Im Jahre 1843 kam nun durch den Wundarzt Dr. Montgomerie**) in Singapore ein organischer Stoff — die Guttapercha — nach Europa, welche als vorzügliches Isolationsmittel sofort die Aufmerksamkeit der Elektriker erregte. Schon früher war diese organische Masse aus Ostindien und China unter dem Namen Mazer Wood nach England gebracht worden, ohne dass man von ihren werthvollen Eigenschaften Kenntniss hatte. 1844 wurde die erste grössere Quantität, 100 Kilo, nach Europa geschickt. 1845 exportirte Singapore schon über 10 Tonnen, 1847 mehr als 561 Tonnen und 1858 gegen 665 Tonnen. Der jährliche Import von Guttapercha in England betrug:

| | | |
|---|---|---|
| 1861 . . . . . | 876 | Tonnen |
| 1866 . . . . . | 1080 | » |
| 1871 . . . . . | 976 | » |
| 1876 . . . . . | 981 | » |
| 1878 . . . . . | 1494 | » |

*) Es ist dies der eigentliche metallische Elektricitätsleiter.

**) Vergl. Zetzsche, Handbuch der Telegraphie. I. Bd., S. 485.

Der Preis betrug 1848 per Kilo $1^1/_2$ fl., während er jetzt auf $3^1/_2$ fl. gestiegen ist.

Mehrere Jahre nach der Einführung der Guttapercha wusste man noch nichts über die Natur des Baumes, aus dem dieselbe gewonnen wird. Erst im Jahre 1847 war Sir W. S. Hooker im Stande, die Pflanze nach einigen von Dr. Oxley nach England geschickten Exemplaren zu beschreiben. Er erkannte dieselbe als eine Species der Gattung Isonandra, dem Geschlechte der Sapotaceen angehörig, und schlug vor, dieselbe Isonandra Gutta zu nennen. Der Baum wird nach Oxley 14—24 m hoch, und der Stamm erreicht einen Durchmesser von $1^1/_2$—2 m.*) Am besten gedeiht die Pflanze in angeschwemmtem Lande, am Fusse von Hügeln. An der Rinde des Baumes finden sich schwarze Linien, unter welchen die Milchsaftcanäle verlaufen. Aus dem Milchsafte gewinnt man die Guttapercha. Zu diesem Zwecke hieb man früher die Bäume um und machte dann in Entfernungen von 30—40 cm ringförmige Einschnitte in die Rinden, aus denen der Milchsaft in untergestellte Gefässe aus Cocosnussschalen ausfloss. Bei diesem unpraktischen Verfahren gewann man aus einem ganzen Baume nur 10—15 Kilo Guttapercha.**)

Die Eingebornen haben glücklicherweise jetzt durch die Erfahrung gelernt, dass man den Milchsaft sammeln könne, indem man nur einzelne Einschnitte in den Stamm des lebenden Baumes macht, und auf diese Weise weit grössere Quantitäten Guttapercha aus einem Stamme

*) Dingler's Journal 108, 388. Edinb. n. phil. Journ. Jan. 1848.
**) Muspratt, Techn. Chemie. III. Bd., S. 1662.

gewinnen könne. Dieses vortheilhaftere Verfahren hat nun fast überall den früher üblichen Raubbau verdrängt.

Der Saft gerinnt, wenige Minuten, nachdem er gesammelt ist, sowohl an freier Luft als auch in verschlossenen Flaschen.

### 3. Versuche von Siemens.

Nach dem Bekanntwerden der Jakobi'schen Versuche über unterirdische Leitungen wurden dieselben in Preussen mit gewissen Modificationen wiederholt, ohne übrigens bessere Resultate zu Tage zu fördern. Gleichzeitig versuchte man in England und Amerika, die übersponnenen Drähte durch eiserne oder bleierne Röhren zu schützen.

Die grossen Kosten dieses Verfahrens und die Schwierigkeiten, welche sich beim Dichten der aneinander stossenden Röhren ergaben, waren Ursache, dass man nur ganz kurze Strecken, z. B. Querleitungen durch Flüsse, herstellte. Es zeigte sich ferner, dass die den Draht eng umschliessenden Bleiröhren häufig nach Verlauf einiger Zeit mit demselben in Berührung kamen. Wahrscheinlich war die ungleiche Ausdehnung von Blei und Kupfer bei Temperaturänderungen die Veranlassung dieser Erscheinung.

Im Herbste 1846 erhielt Siemens die erste Probe von Guttaperchamasse und erkannte in derselben sofort ein vorzügliches Isolationsmaterial. Nach mehreren gelungenen Vorversuchen erhielt Siemens den Auftrag, eine Versuchsleitung von einer Meile Länge zu bauen. Im Herbste 1847 war dieselbe vollendet. Die Isolation

des Drahtes erwies sich, trotz der noch mangelhaften Methode, welche bei der Bekleidung desselben mit Guttapercha angewendet worden war, schon soweit ausreichend, dass die Verlängerung der Leitung von Berlin bis nach Gr.-Beeren ($2^1/_2$ Meilen) beschlossen wurde.*)

Im Frühjahre 1848 war auch diese Arbeit vollendet und die Leitung wurde nun zur telegraphischen Correspondenz zwischen den genannten Orten benützt. Die Bekleidung der Drähte geschah im Etablissement Fonrobert & Pruckner. Es wurde reine, durch erhitzte Walzen vollständig entwässerte Guttapercha verwendet. Die erwärmte Masse wurde durch gekühlte Walzen um den Draht gepresst, die vorhandenen Isolationsfehler wurden durch Bekleben mit erwärmten Guttaperchabändern ausgebessert.

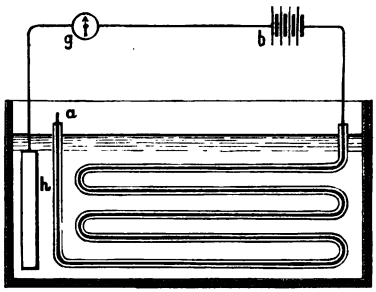
Behufs Prüfung der Isolation wurden Drahtstücke von beiläufig 220 m Länge in Wasserkübel versenkt (Fig. 1). Das eine Kabelende *a* war isolirt, das andere mit dem Pole einer Daniell-Batterie *b* von acht Elementen verbunden. Der zweite Pol der Säule war mit einem empfindlichen Galvanometer *g* und dieses mit einer in die Flüssigkeit tauchenden Metallplatte *h* leitend verbunden. Dabei durfte das Galvanometer keine erhebliche Ablenkung zeigen.

Beim Verlegen des Kabels in einen 63 cm tiefen Graben längs der Eisenbahn wurde dasselbe zum Schutze noch mit einer Mischung von Marineleim, Steinkohlentheer und Colophonium überzogen. Die Drahtenden wurden mit Zinn zusammengelöthet und die Löthstellen

*) Siemens, Pogg. Ann. 79. 1850, S. 488.

durch Umkleben mit erwärmten Guttaperchaplatten ebenfalls isolirt. Der zweite Ueberzug des Drahtes schien nöthig, weil Versuche gezeigt hatten, dass die reine Guttapercha bei längerem Liegen im Wasser an der Oberfläche eine Rückbildung in weisses Hydrat erleidet, und hierdurch die Gefahr entstand, dass die Isolation sich mit der Zeit vermindern würde. Diese Eigenschaft der Guttapercha tritt besonders bei längerem Liegen im Meerwasser auf.

Fig. 1.

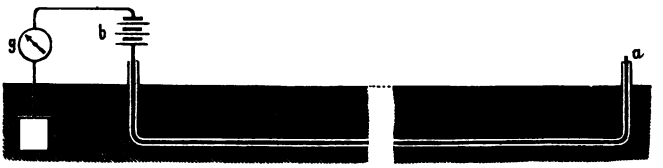



Bei einer Minenanlage, die Siemens im Sommer 1848 im Hafen von Kiel gemeinschaftlich mit Prof. Himly ausführte, waren die mit reiner Guttapercha bekleideten Drähte, welche zur Entzündung der auf dem Grunde des Fahrwassers liegenden Pulvermasse dienen sollten, nach beiläufig einem halben Jahre mit einer dünnen Lage weisser Guttapercha bekleidet. Die weisse Farbe verschwand wieder, wenn die Drähte einige Tage der Luft ausgesetzt waren. Es wurde aus diesem Grunde und zur Erzielung grösserer Consistenz bei vielen, später angefertigten Drähten geschwefelte Guttapercha verwendet, ein Verfahren, von dem man aber bald wieder abging,

da sich an der Drahtoberfläche eine dicke Kruste Schwefelkupfer bildete, die zerstörend auf den Draht und die Guttaperchahülle einwirkte. Bezüglich der Haltbarkeit des Guttaperchaüberzuges ergab sich, dass die zuerst angewendete Fabrikationsmethode einer Verbesserung bedürfe.

Die in Form zweier schmaler Riemen um den Draht gewalzte Masse zeigte an manchen Vereinigungsstellen kleine Oeffnungen, durch welche die Feuchtigkeit des Bodens allmälig bis zum Drahte gelangte. Die Nähte verloren mit der Zeit ihre Haltbarkeit, was die Isolirung gefährdete. Später gelang es Siemens und Halske,

Fig. 2.




den Guttaperchaüberzug ohne Naht herzustellen. Das Verfahren, welches sie anwendeten, wollen wir später beschreiben, hier aber noch der eigenthümlichen Erscheinung gedenken, die zuerst von Kramer und Siemens an unterirdischen Leitungen beobachtet und von dem Letzteren in richtiger Weise erklärt wurde.*) Verbindet man nämlich ein entsprechend langes Kabel, das am einen Ende *a* isolirt ist, mit einer Batterie *b* und einem Galvanometer *g* (Fig. 2), so zeigt sich im Momente, wo die Verbindung hergestellt wird, ein kräftiger Strom von sehr kurzer Dauer, dem ein constanter Strom von

*) Vergl. Zetzsche, Handbuch der Telegraphie. I. Bd., S. 491.

höchst geringer Intensität folgt. Wir nennen den ersteren Ladungsstrom.

Das Kabel bildet nämlich eine mächtige Leydnerflasche, deren innere Belegung durch die Kupferseele, deren äussere von der leitenden Feuchtigkeit des Erdbodens, und wenn das Kabel mit einem metallenen Schutzüberzuge versehen, von dem letzteren gebildet wird.

Verbindet man die innere Belegung einer Leydnerflasche mit einer Elektricitätsquelle, die äussere mit der Erde, so strömt vom Elektricitätserzeuger eine bestimmte Quantität Elektricität in die innere Belegung, die in bekannter Weise in der äusseren Belegung eine entsprechende Menge entgegengesetzter Elektricität bindet. In ähnlicher Weise entsteht der Ladungsstrom in Kabeln.

Wir wollen uns begnügen, hier die erste Andeutung über die Ladungserscheinungen zu geben, die dann in einem späteren Capitel ausführlich besprochen werden sollen.

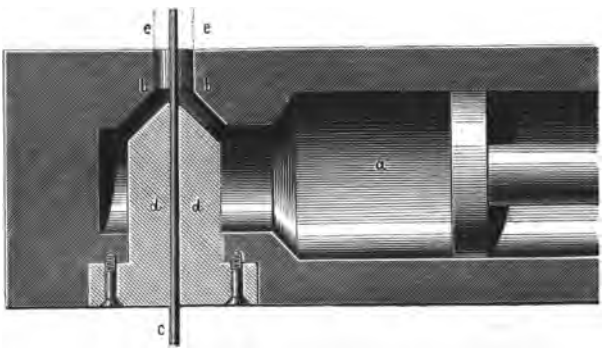
### 4. Herstellung der Guttaperchahülle.

Zur Erzeugung eines Guttaperchaüberzuges ohne Naht liessen Siemens und Halske in der Fonrobert-Pruckner'schen Fabrik eine Guttaperchapresse herstellen. Die rohen Guttaperchablöcke wurden klein geraspelt und in heissem Wasser eingeweicht, wobei sich Sand und andere fremdartige Beimischungen zu Boden setzten, sodann in warmem Wasser zwischen Rauhwalzen klein gerissen und schliesslich die schwammartige Masse mittelst starker hydraulischer Pressen durch ein Drahtsieb getrieben, um die Verunreinigungen vollends zu entfernen. Man lässt nun die Substanz ohne Wasser so

lange unter beständigem Zusammenschlagen durch die gerippten Walzen der Knetmaschine gehen, bis sie ein chocoladebraunes, ganz gleichmässiges Ansehen hat, und bringt sie dann, durch Wärme gehörig erweicht, in den zum Umpressen der Drähte bestimmten Apparat (Fig. 3).

In einem starken, 2·5 m langen eisernen Cylinder *a* von 0·2 m Lichtweite, der mittelst Dampf erwärmt wird, bewegt sich ein Kolben, der durch eine von Dampf-

Fig. 3.




kraft getriebene Schraube langsam fortbewegt wird.

An dem vorderen Theile des Cylinders befindet sich ein massiver Kopf mit dem zur Durchführung der zu umpressenden Drähte bestimmten Mundstücke. Der zu umpressende Kupferdraht *c* wird von unten durch ein starkes Metallstück *d* hindurchgeführt, so dass die Guttapercha, welche durch den Kolben aus dem Innern des Cylinders *a* durch den konischen Raum *b* herausgepresst wird und bei *e* mit dem Drahte aus dem Mundstücke hervortritt, den Draht sehr innig umschliesst.

Die über dem Konus *b b* befindliche Oeffnung ist nahezu cylindrisch, doch oben ein wenig enger als unten im Anschlusse an *b b*. Die Geschwindigkeit des Drahtes beträgt beiläufig $2^1/_2$ mm in der Secunde.

Das Einbringen der Masse in den Cylinder muss mit Vorsicht geschehen, um womöglich alle Luft wegzubringen, weil durch eingeschlossene Luft das Fabrikat geschädigt wird.

Die umpressten Drähte werden, nachdem sie behufs Abkühlung einen langen Wasserbehälter passirt haben, auf Haspel aufgewunden.

Will man das Umpressen ohne Unterbrechung fortgehen lassen, so ersetzt man den Presskolben durch eine festgelagerte Schraube ohne Ende, welche bei ihrer Umdrehung die von der Seite beständig zugeführte Guttapercha stetig nach dem Mundstücke hin presst, oder man benützt eine Maschine mit zwei Cylindern. Während dann der eine Cylinder arbeitet, wird der zweite, vorher entleerte, wieder gefüllt.

Für längere Leitungen mit dicker Isolirschicht umhüllt man den Draht mit mehreren, $^3/_4$ bis 1 mm dicken Lagen Guttapercha. Zwischen je zwei Lagen, sowie zwischen den Draht und die erste Lage gibt man behufs Ausschliessung der Luft und Verhütung der Blasenbildung durch dieselbe eine Schicht Chatterton-Compound. Es ist dies eine Mischung aus drei Theilen Guttapercha, einem Theile Stockholmer- oder Holztheer und einem Theile Harz.

## 5. Weitere Ausbreitung der unterirdischen Telegraphenlinien.

Die anfangs günstigen Ergebnisse, welche Siemens auf unterirdischen Leitungen erzielte, veranlassten das preussische Handelsministerium, die Anlage einer grösseren Anzahl unterirdischer Linien anzuordnen. Massgebend für diesen gewiss kühnen Entschluss war die Erwägung der Vortheile, welche die unterirdischen Leitungen den oberirdischen gegenüber in Aussicht stellten, und die nicht unberechtigte Hoffnung, dass sorgfältiger hergestellte Drähte von den Mängeln der zuerst mit unzureichender Sachkenntniss erzeugten Kabel frei sein würden. Ausserdem drängten die politischen Ereignisse des Jahres 1848 zur schleunigen Ausführung der Linien von Berlin nach Frankfurt am Main und Aachen.

Im Frühjahre 1850 besass Preussen sieben grosse unterirdische Linien, mit einer Gesammtausdehnung von 300 deutschen Meilen; im Herbste desselben Jahres betrug diese Länge 400 Meilen. Die Kosten beliefen sich auf 1140 Thaler pro Meile.

In Sachsen bestanden unterirdische Linien zwischen Dresden und Leipzig (1850—1854), Leipzig und Hof (1850—1852), Dresden und Bodenbach (1850—1852). Auch in Oesterreich war man, im Vertrauen auf die anfangs günstigen preussischen Erfahrungen und auf Grund eigener Erfahrungen, mit der Verwendung des, mit vulcanisirter Guttapercha umpressten Kupferdrahtes, der ohne weiteren Schutz in $2^1/_2$ Fuss tiefe Gräben verlegt wurde, zu Ende des Jahres 1848 von oberirdischen

zu den unterirdischen Leitungen übergegangen. Es geschah dies auf Anrathen Steinheil's, der in österreichische Dienste getreten war. Am Schlusse des Jahres 1850 waren gegen 160 Meilen in Betrieb. Am Ende des Jahres 1851 waren im lombardisch-venetianischen Königreiche 105 Meilen, in Oesterreich-Ungarn 85 Meilen in Verwendung. Auch in Russland wurde 1852 eine unterirdische Linie von Petersburg bis Moskau nach preussischem Muster gelegt.*)

Alle diese Linien erfreuten sich nur einer sehr kurzen Lebensdauer, da in Folge der mangelhaften Isolation die Betriebsverhältnisse sich fortwährend verschlechterten.

Die unterirdischen Leitungen in Preussen fingen schon in den nächsten Jahren nach ihrer Legung da und dort zu versagen an und verursachten grosse Reparaturkosten; 1852 hatten die chronischen Unterbrechungen des Telegraphen-Verkehres einen so bedenklichen Grad erreicht, dass die preussische Telegraphendirection am 18. Juni dem correspondirenden Publicum mitzutheilen genöthigt war, die vorhandenen unterirdischen Leitungen hätten sich nicht bewährt, und es könne deshalb bis zur Herstellung oberirdischer Linien auf eine regelmässige und prompte Beförderung der Depeschen nicht gerechnet werden.

Nicht besser ging es in anderen Ländern. In Oesterreich hatte man, um die Nachtheile der Guttapercha-Isolirung zu vermeiden, Versuche mit Kabeln angestellt, die mit Wolle übersponnen, mit Wachs getränkt und durch eine Bleihülle geschützt waren.

*) Zetzsche, Handbuch der Telegraphie, I. Bd., S. 490.

Mit derartigen Leitungen wurde im Jahre 1849 eine Verbindung zwischen dem österreichischen Handelsministerium und dem Nord- und Südbahnhofe in Wien hergestellt, die sich aber auch nicht bewährte. In eine 30 Meilen lange oberitalienische Linie mussten, nachdem der Betrieb beiläufig ein Jahr gedauert hatte, drei Uebertragungsstationen eingeschaltet werden.*)

1852 waren in Oesterreich, 1854 in Deutschland alle unterirdischen Leitungen ausserhalb der Städte vollständig beseitigt.

In England begann man 1848 mit dem Baue unterirdischer Leitungen. 1849 verlegte man unter den Strassen Londons 1·65 mm dicke Eisendrähte. Je drei von einander isolirte Drähte erhielten eine gemeinsame Kautschukhülle. Ein zweiter Versuch, Eisen als Kabelseele zu benützen, wurde von Dr. O'Shaughnessy angestellt. Derselbe erbaute 1851 eine 12 engl. Meilen lange Linie von Calcutta nach Bishtapore. Der Elektricitätsleiter bestand aus Rundeisenstäben, die zu 200 Fuss langen Stücken zusammengespleisst waren. Die Stäbe wurden mit zwei Lagen Madraszeug, das mit geschmolzenem Pech und Theer getränkt war, schraubenförmig umwickelt, in eine Rinne aus halbrunden Dachziegeln verlegt und schliesslich mit einem Kitt aus drei Gewichtstheilen ausgewaschenen getrockneten Sandes und einem Gewichtstheile Harz überdeckt.

1853 begann die Magnetic Company Untergrundleitungen in grösserem Massstabe auszuführen und verband London mit Manchester durch ein 320 km langes Kabel. Dasselbe wurde längs der Chausseen verlegt und

*) Vergl. J. Sack, Hartleben's Elektrotechnische Bibliothek. Bd. V, S. 147.

bestand aus zehn Kupferdrähten von 1·65 mm Dicke, die in zwei parallelen Reihen angeordnet und mit Guttapercha isolirt waren.

Zum Schutze dienten rinnenartig ausgehöhlte Holzstämme, die nach Verlegung des Kabels mit aufgenagelten Holzdeckeln verschlossen wurden. Dieselben waren in 60 cm tiefe Gräben versenkt. Während der Verlegungsarbeit waren je 2400 m Kabel auf eine grosse Spule gewunden. Doch die Arbeit war noch keineswegs beendigt, als schon nach und nach immer mehr Fehler entdeckt wurden, so dass bald Stück für Stück der Kabelleitung oberirdischen Anlagen weichen musste.

Nicht besser ging es der Electric Company, welche ihre Leitungen in Eisenröhren einzog.

Dänemark legte 1853 seine erste unterirdische Linie (Helsingör—Hamburg) an, obwohl die in Deutschland gemachten Erfahrungen schon allseits bekannt waren; die Ausführung war eine ausserordentlich sorgfältige. Nichtsdestoweniger musste auch diese Linie schon 1854 aufgelassen werden.

In der nun folgenden Zeitepoche beschäftigten sich die Telegraphentechniker vornehmlich mit der Vervollkommnung der Luftleitungen, deren Isolirung durch die Einführung der Doppelglocke (von Chauvain 1858) wesentlich verbessert wurde.

## 6. Vergleich zwischen den oberirdischen und unterirdischen Linien.

Die Herstellung oberirdischer Leitungen ist unbedingt einfacher, billiger und weniger zeitraubend als jene der Untergrundleitungen.

Luftleitungen brauchen wenig Grundfläche und können zu jeder Jahreszeit gebaut werden. Auch ist es sehr leicht, Arbeiter und Aufsichtsorgane für derartige Arbeiten abzurichten.

Für Kabelleitungen hingegen braucht man vorzüglich geschickte Arbeiter; insbesondere zur Herstellung der Verbindungen beim Zusammenstellen zweier Kabelstücke. Im tiefen Winter, wenn das Erdreich festgefroren ist, wäre eine Kabellegung mit enormen Kosten verbunden.

Findet man mit den vorhandenen oberirdischen Leitungen nicht sein Auskommen, so ist in kürzester Zeit ein weiterer Draht an den Stangen befestigt. Nicht so beim Kabel, wo schon im Vorhinein mehr Drahtadern gelegt werden müssen, als der momentane Verkehr erfordert.

Die Kosten für Anschaffung und Verlegung eines siebendrähtigen Kabels betragen 5—6000 Mark für den laufenden Kilometer,*) jene für sieben Luftleitungen nur den sechsten bis siebenten Theil dieses Betrages.

Reparaturen sind bei gut angelegter Untergrundleitung allerdings weit seltener nöthig als bei Luftleitungen. Kommen sie aber doch vor, so ist der Zeit- und Kostenaufwand für dieselben weit grösser als bei Luftleitungen. Die letzteren erfordern dagegen eine stete Beaufsichtigung, die bei Kabeln fast ganz entfällt.

Die Betriebsapparate der Luftleitungen sind im Allgemeinen einfacher als jene für Kabel, da bei den letzteren auf die Ladungserscheinungen Rücksicht zu nehmen ist. Dagegen ist die Sicherheit des Betriebes

*) Vergl. Schöttle, Der Telegraph in administrativer und finanzieller Hinsicht. Stuttgart, Kohlhammer, 1883, S. 123.

auf guten Kabellinien weit grösser, da dieselben den atmosphärischen Einflüssen nicht ausgesetzt sind. Nur muss dafür gesorgt sein, dass nicht Mäuse, Ratten und andere Nagethiere die Kraft ihrer Zähne an der Isolirungsmasse erproben.

Nach längerer Dauer des Betriebes nimmt die Güte der unterirdischen Leitung im Allgemeinen ab, was von den Luftlinien keinesfalls behauptet werden kann. Die letzteren sind ihrer ganzen Ausdehnung nach den Beaufsichtigungsorganen zugänglich, während Untergrundleitungen zum Zwecke einer Untersuchung beschädigt und dann wieder ausgebessert werden müssen, falls man sich nicht zur Anlage zahlreicher kostspieliger Untersuchungsbrunnen entschliessen will.

Die Ueberlegenheit der Untergrundleitungen liegt in ihrer vollständigen Unabhängigkeit von atmosphärischen Einflüssen. Regenwetter, das die Isolation oberirdischer Leitungen wesentlich verschlechtert, hat auf sie keinen Einfluss. Auch die Gefahr der Zerstörung durch den Blitz ist kaum vorhanden, während oberirdische Leitungen geradezu als vorzügliche Blitzableiter dienen und ausserdem bei Stürmen oft genug beschädigt werden.

Hat einmal die Zeit die Spuren der Verlegungsarbeiten für unterirdische Kabel verwischt, so ist eine Zerstörung durch Muthwillen ausgeschlossen, und selbst die böswillige Zerstörung gelingt nicht so leicht als bei Luftleitungen.

Die letzteren finden auch in der Thierwelt einige Feinde. Der Specht, von dem Gesumme, das durch die Schwingungen der Drähte entsteht, angezogen, hackt, nach Insecten suchend, tiefe Löcher ins Holz, die die

Festigkeit der Stange wesentlich beeinträchtigen. In den Tropen finden die Affen grosses Vergnügen daran, an den Drähten Turnübungen anzustellen, weshalb man in diesem Falle Leitungen von 8 mm Dicke verwendet. Ausserdem sind die Isolationsglocken oft willkommene Schlupfwinkel für Insecten aller Art und werden von diesen im Innern verunreinigt, wodurch deren Isolationsfähigkeit leidet.

Im Falle eines Krieges ist jener Staat, der über ein ausgebreitetes Untergrundnetz verfügt, unbedingt im Vortheil. Eine kleine Cavallerieabtheilung ist leicht im Stande, in kürzester Zeit sämmtliche oberirdischen Leitungen mehrere Meilen im Umkreise zu unterbrechen. Untergrundleitungen hingegen müssen erst aufgesucht und ausgegraben werden, was insbesondere im Winter viel Zeit und Mühe kostet und die Handhabung von Grabwerkzeugen erfordert. Eine belagerte Festung, in welcher zahlreiche Untergrundleitungen münden, kann nicht sofort von jedem Verkehr mit der Aussenwelt abgeschnitten werden, insbesondere dann nicht, wenn ein Theil der Leitungen durch tiefe und schwer zugängliche Gewässer geführt wird.

Wir können aus dem Gesagten den Schluss ziehen, dass, mit Rücksicht auf die hohe Vervollkommnung der heutigen Kabelleitungen, reiche Staaten, welche die bedeutenden Kosten für unterirdische Leitungen aufbringen können, es immerhin vorziehen werden, zur unbedingten Sicherung der strategischen und Verkehrsinteressen, die wichtigsten telegraphischen Verbindungslinien zwischen den grossen Städten und Festungen unterirdisch auszuführen.

In Erkenntniss der oben geschilderten Schattenseiten der Luftleitungen und mit Berücksichtigung der günstigen

Erfahrungen, die mittlerweile an mehreren Untergrundkabeln gemacht worden waren,*) veröffentlichte 1869 die General-Telegraphendirection des Norddeutschen Bundes ein Memorandum, in welchem die Nothwendigkeit dargelegt wurde, dem Verkehre auf den Hauptlinien durch Schaffung unterirdischer Leitungen grössere Unabhängigkeit von Wind und Wetter und anderen schädigenden Einflüssen zu verleihen.

1871 legte die britische Verwaltung, welche beim Uebergang der Telegraphen an den Staat 1928 engl. Meilen**) Untergrundlinien besass, ein vierzehnaderiges unterirdisches Kabel von 58 km Länge zwischen London und Liverpool.

---

*) 1853 wurde bei Köln ein Kabel im Rhein verlegt, um eine Reihe von Ortschaften stromauf- und stromabwärts zu verbinden. Dasselbe functionirte ohne Unterbrechung bis zum Jahre 1868. Zwei andere in Köln gelegte Kabel vom Jahre 1856 wurden 1867 untersucht. Die Guttapercha war unverändert und besass ihre volle ursprüngliche Isolationsfähigkeit. Die Umhüllung der eisernen Armatur war steinhart zusammengebacken; die Armatur selbst zeigte keine Spur von Rost. Ebenso günstige Resultate ergaben sich bei den Untersuchungen des in München 1856 gelegten Kabels, einer 1859 bei Koblenz gelegten, 15 km langen Untergrundleitung und anderer Linien, die von Berlin aus 1861 und 1864 gelegt wurden. 1868 besassen 32 deutsche Städte Untergrundleitungen. Die bedeutendsten waren:

| | |
|---|---|
| Berlin . . . . . | 56·31 km |
| Bremen . . . . . | 12·39 » |
| Hamburg . . . . . | 9·25 » |
| Aachen . . . . . | 7·24 » |
| Altona . . . . . | 6 — » |
| Frankfurt am Main . . . . . | 5·36 » |
| Köln . . . . . | 4·30 » |

**) Schöttle, Der Telegraph. Stuttgart, Kohlhammer, 1883, S. 122.

In Deutschland verzögerte sich die Ausführung einer ähnlichen Anlage mehrere Jahre, bis es der Umsicht und Ausdauer des Staatssecretärs Dr. Stephan, dem wir ja auch die geniale Schöpfung des Weltpostvereines danken, gelang, den Bau eines grossen deutschen Untergrundnetzes zur Ausführung zu bringen. An demselben wurde 1876—81 gearbeitet. Es umfasst heute sämmtliche bedeutenden Festungen und Häfen, die grösseren Handels- und Residenzstädte, 221 an der Zahl.

Die Gesammtlänge der Linien beträgt 5470 km bei einer Drahtlänge von 37.420 km. 70 Flusskabel führen durch alle grösseren Flüsse Deutschlands und haben eine Gesammtlänge von über 11 km. Die Verbindung der einzelnen, im Durchschnitte 1 km langen Kabelstücke erforderte 5481 Löthstellen.

Das Gewicht der Kabel beträgt nahezu 13.000 Tonnen, wovon 10.000 Tonnen auf die Eisenhülle, 800 Tonnen auf die Kupferleitungsdrähte entfallen. Die Ausführung geschah in 58 Monaten und kostete etwas über 30 Millionen Mark.*)

Im August 1883 wurde noch ein Kabel mit vier Leitungen zwischen Kiel und Flensburg von rund 86 km Länge und ein dreiaderiges Kabel zwischen Flensburg und Hoyer (62 km lang) verlegt. Diese Kabel stellen den unmittelbaren Anschluss des submarinen norwegischen Kabels an das deutsche unterirdische Liniennetz her.

Interessante Mittheilungen über die Betriebsergebnisse auf dem deutschen Reichskabelnetze finden sich im II. Bd. (S. 313) der »Zeitschrift für Elektrotechnik«.**)

*) Archiv für Post und Telegraphie 1881, S. 538.

**) Herausg. vom Elektrotechn. Verein in Wien. A. Hartleben, 1884.

## 7. Constructions-Elemente der Kabel.

Wir unterscheiden an jedem Kabel: 1. Den eigentlichen Elektricitätsleiter, 2. die Isolirungsmasse, 3. die Schutzhülle.

Während bei oberirdischen Leitungen zumeist Eisendrähte in Verwendung stehen, finden wir als Kabelseele ausnahmslos Kupfer. Massgebend für die Wahl desselben ist seine hohe elektrische Leitungsfähigkeit, seine Biegsamkeit und geringe Affinität zum Sauerstoff. Man verwendet möglichst reines Kupfer, da die Leitungsfähigkeit um so grösser ist, je mehr sich das Metall dem chemisch reinen Zustande nähert.

Es empfiehlt sich sehr, den nöthigen Querschnitt der Kupferleitung durch Vereinigung mehrerer Drähte zu einem dünnen Seile — Litze — hervorzubringen. Dünne Drähte lassen sich leicht biegen und es ist unwahrscheinlich, dass in ein und demselben Querschnitte sämmtliche Drähte schadhaft sind. Es gewährt somit die Anwendung von Litzen eine erhöhte Sicherheit für den Betrieb. Am meisten verbreitet sind drei- und siebendrähtige Litzen (Fig. 4*a* und *b*). Im letzteren Falle bildet der mittlere Draht einen geraden Cylinder, um welchen die übrigen Drähte in Form sehr steiler Schraubenlinien gewunden sind.

Bei den Kabeln des Deutschen Reiches verwendet man siebendrähtige Litzen. Der Drahtdurchmesser beträgt 0·7 mm.

Setzt man den Leitungswiderstand des Quecksilbers bei $0^0$ gleich 1, so ergibt sich nach Matthiessen der

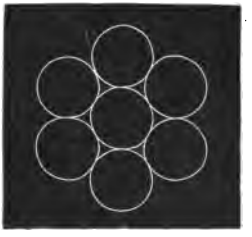
Widerstand des chemisch reinen Kupfers in hartem Zustande gleich 0·0166, weich 0·0162. In absolutem Masse findet man den Widerstand eines Kupferdrahtes von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt gleich 0·0154—0·0158 Ohm, bei den im Handel vorkommenden Sorten meist 0·0166 Ohm. Mit steigender Temperatur nimmt der Widerstand zu.

Annähernd gilt das Gesetz

$$w_t = w_o \left( 1 + \frac{t}{273} \right) .$$

Fig. 4*a*.

Fig. 4*b*.



In dieser Formel bedeutet $w_t$ den Leitungswiderstand bei $t^0$, $w_0$ jenen bei $0^0$, $t$ die Temperatur in Celsiusgraden.

Genauer ist die Formel:

$$w_t = w_o \, (1 + \alpha t + \beta t^2) \quad . \quad . \quad . \qquad \text{I}$$

Nach Benoit*), der die Coëfficienten $\alpha$ und $\beta$ für sehr weite Temperaturgrenzen bestimmt hat, ist

$$\alpha = 0{\cdot}003637; \quad \beta = 0{\cdot}000000587.$$

Um Kupferwiderstände, die bei verschiedenen Temperaturen gemessen wurden, mit einander zu vergleichen, muss man sie auf die nämliche Temperatur reduciren.

*) R. Benoit, Compt. rend. LXXVI, 342.

In Deutschland nimmt man als Vergleichstemperatur $15^0$ C. Es ist dann

$$w_{15} = w_o (1 + 15\alpha + 15^2\beta) = 1{\cdot}05469\, w_0 . \quad \text{II}$$

Eliminirt man aus Gl. I und II die Grösse $w_0$, so bekommt man als Reductionsformel:

$$w_{15} = \frac{w_t}{1{\cdot}05469} (1 + 0{\cdot}003637\, t + 0{\cdot}000000587\, t^2).$$

Man wird es im praktischen Leben fast nie mit ganz reinem Kupfer zu thun haben. Am reinsten sind jene Drähte, die direct aus elektrolytisch gefälltem Kupfer erzeugt wurden.

Beim Umschmelzen bildet sich immer eine gewisse Menge Kupferoxydul, und durch den Process des Drahtziehens kommen auch Stahltheilchen auf die Oberfläche des Drahtes.

Hat man den Leitungswiderstand eines Drahtes vom Querschnitte $q$ und der Länge $l$ gemessen und denselben gleich $w$ gefunden, so ergibt sich der specifische Leitungswiderstand

$$s = \frac{wq}{l}.$$

Dieser Widerstand darf bei gutem Material höchstens um $10\%$ mehr betragen, als jener des chemisch reinen Kupfers.

Bestimmt man die specifischen Kupferwiderstände in verschiedenen Drähten, so wird man nach Mousson im Allgemeinen bei dünnen Drähten kleinere Werthe finden, als bei dicken.

So findet man den specifischen Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes von 0·6 mm Dicke um $4\frac{1}{2}\%$ kleiner, als jenen eines dreimal so dicken Drahtes. Eisen zeigt das entgegengesetzte Verhalten.

Um ein gerechtes Urtheil über die relative Güte zweier Kupfersorten fällen zu können, muss man aus denselben ganz gleich dimensionirte Drähte anfertigen, deren Widerstände dann vergleichbar sind und nur mehr von der chemischen Zusammensetzung abhängen.

Ausserdem ist zu berücksichtigen, dass Drähte durch Aufwickeln in Schraubenform, wie man dies oft vor Widerstandsbestimmungen vornimmt, ihren Leitungswiderstand ein wenig ändern. Aufwickeln vermehrt, Abwickeln vermindert den Leitungswiderstand des Kupfers um etwa 0·003 des ursprünglichen Werthes.

Durch Erhöhung des Druckes nimmt auch der Leitungswiderstand des Kupfers zu. Es wird demnach der Widerstand eines Kabels, in der Fabrik gemessen, etwas kleiner sein als jener, den man nach Versenkung desselben in tiefe Gewässer findet. Auch durch Zugspannung wird der Widerstand eines Kupferdrahtes erhöht.

Belastet man einen hartgezogenen Kupferdraht derart, dass er sich um ein Zehntausendstel seiner ursprünglichen Länge ausdehnt, so nimmt der Widerstand um 0·000236 seiner früheren Grösse zu; bei ausgeglühtem Kupfer sogar um 0·000613.

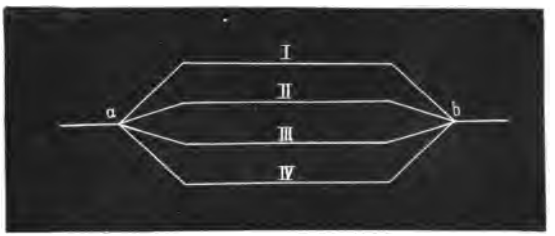
Es wächst also der Widerstand weit rascher als die Drahtlänge.*) Allerdings wird durch die Dehnung auch der Drahtquerschnitt etwas verkleinert, doch ist die Querschnittscontraction keineswegs hinreichend gross, um aus derselben die bedeutende Abnahme des Widerstandes zu erklären.

*) Die gegebenen Zahlen sind aus Mousson's Angaben, »Neue Schweizer Zeitschr.« 14, S. 33, 1855, berechnet.

Handelt es sich darum, den Widerstand einer Litze voraus zu berechnen, so kann man näherungsweise annehmen, sämmtliche Drähte, aus denen das betreffende Stück besteht, seien gleich lang. Für dreidrähtige Litzen ist dies ganz genau der Fall.

Bezeichnen wir mit $q$ den Querschnitt des einzelnen Drahtes, mit $l$ die Länge, mit $s$ den specifischen Leitungswiderstand, mit $n$ die Anzahl der vereinigten Drähte, so ergibt sich der Gesammtwiderstand

Fig. 5.




$$W = \frac{1}{n}\frac{ls}{q} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{III}$$

In einer siebendrähtigen Litze sind jedoch die äusseren, schraubenförmig gewundenen Drähte etwas länger als der mittlere, auf welchen Umstand bei einer genaueren Vorausberechnung Rücksicht genommen werden muss.

Sind alle sieben Drähte von einander isolirt und nur an den Enden verbunden, so berücksichtigen wir, dass ein System von Zweigwiderständen (Fig. 5) *a* I *b*, *a* II *b*, *a* III *b*, *a* IV *b* u. s. w. durch einen einzigen Widerstand ersetzt werden kann.

Bezeichnen wir die Widerstände der einzelnen Zweige mit $w_1$, $w_2$, $w_3$, $w_4$, so ist der Gesammtwiderstand

$$W = \frac{1}{\frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3} + \frac{1}{w_4}} \quad \ldots \quad \text{IV}$$

In unserem Falle ist der Widerstand des mittleren Drahtes gleich $\frac{ls}{q}$, die Widerstände der sechs Schraubendrähte sind hingegen ein wenig grösser.

Fig. 6.

Heissen wir $\lambda$ jene Drahtlänge, auf welche eine volle Schraubendrehung eines äusseren Drahtes kommt, so können wir die Länge des schraubenförmigen Drahtes als Hypotenuse $p\,r$ eines rechtwinkeligen Dreieckes auffassen (Fig. 6), dessen eine Kathete gleich $\lambda$, dessen zweite gleich dem Umfange eines Kreises vom Durchmesser $2d$ ist, wobei $d$ den Durchmesser des Drahtes bedeutet. Die Länge der Hypotenuse $p\,r$ ist dann gleich

$$\sqrt{\lambda^2 + 4d^2\pi^2} = \lambda\sqrt{1 + \frac{4d^2\pi^2}{\lambda^2}} \quad . \quad \text{V}$$

Nachdem $4\frac{d^2\pi^2}{\lambda^2}$ sehr klein ist, kann man auch näherungsweise setzen:

$$\sqrt{1 + \frac{4d^2\pi^2}{\lambda^2}} = 1 + \frac{2d^2\pi^2}{\lambda^2}$$

Für gleichmässig gearbeitete Litzen sind $d$ und $\lambda$ constant.

Wir können dann zur Abkürzung setzen:

$$\frac{2d^2\pi^2}{\lambda^2} = \beta \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{VI}$$

Hat der gerade Mitteldraht die Länge $l$, so finden wir für die Länge jedes Schraubendrahtes $(1 + \beta)\, l$.

Somit ist der Gesammtwiderstand einer siebendrähtigen Litze von der Länge $l$ gegeben durch

$$W = \frac{1}{\frac{q}{ls} + \frac{6q}{l(1+\beta)s}} = \frac{ls(1+\beta)}{q(7+\beta)}$$

$$W = \frac{ls(1+\beta)}{7q\left(1+\frac{\beta}{7}\right)} \doteq \frac{ls}{7q}\left(1+\frac{6}{7}\beta\right) \quad . \quad \text{VII}$$

Setzen wir in der Näherungsformel III $n = 7$, so finden wir

$$W_1 = \frac{ls}{7q} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{III}'$$

somit einen etwas kleineren Werth.

Führen wir nun die Berechnung des Widerstandes durch unter der Voraussetzung, die Drähte seien mit einander in Berührung.

Betrachten wir genauer die Entstehung des Querschnittes (Fig 4 *b*, Seite 24), so sehen wir ein, dass sich der Schnitt des mittleren Drahtes als Kreis, die Schnitte der umgebenden Drähte hingegen als Ellipsen ergeben müssen, deren kleine Halbachsen dem Radius des mittleren Kreises gleich sind.

Zur Ermittelung der Gestalt der Ellipse berücksichtigen wir, dass sie durch den schiefen Schnitt eines Kreiscylinders entstanden ist. $m\,n$ in Fig. 6 gibt uns

die grosse Halbachse. Zur Berechnung derselben dient nachstehende Proportion, die sich sehr einfach aus den Seitenverhältnissen ähnlicher Dreiecke ergibt.

$$\overline{mn} : \overline{mq} = \overline{pr} : \overline{ps} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{VIII}$$

Bezeichnen wir die grosse Halbachse mit $a$, die kleine mit $b$, so ist

$$2a = mn, \; b = \frac{d}{2}$$

wenn wir die für Gl. V gewählten Buchstabenbedeutungen beibehalten. Gl. VIII lautet dann:

$$2a : d = \sqrt{\lambda^2 + 4\lambda^2\pi^2} : \lambda$$

oder mit Rücksicht auf Gl. V und VI:

$$2a : d = \lambda(1 + \beta) : \lambda$$

somit ist

$$a = \frac{d(1 + \beta)}{2}.$$

Die Fläche $q'$ der Ellipse $= ab\pi$ ergibt sich gleich:

$$q' = \frac{d^2\pi}{4}(1 + \beta) = q(1 + \beta)$$

somit bekommen wir für den Gesammtquerschnitt

$$q + 6q' = q(7 + 6\beta).$$

Der Leitungswiderstand eines Stückes der Litze von der Länge $l$ ist dann:

$$W_2 = \frac{ls}{q(7 + 6\beta)} = \frac{ls}{7q\left(1 + \frac{6}{7}\beta\right)} = \frac{ls}{7q}\left(1 - \frac{6}{7}\beta\right).$$

Zu dem nämlichen Resultate ist Fröhlich auf einem anderen Wege gelangt.*)

*) Vergl. Zetzsche, Handb. d. Telegraphie. II. Bd., S. 305.

Vergleichen wir den gefundenen Werth von $W_2$ mit $W_1$ (Gl. III') und $W$ (Gl. VII), so finden wir

$$\frac{ls}{7q}\left(1-\frac{6}{7}\beta\right) < \frac{ls}{7q} < \frac{ls}{7q}\left(1+\frac{6}{7}\beta\right)$$

$$W_2 < W_1 < W$$

In Wirklichkeit sind die Drähte zumeist weder vollkommen von einander isolirt, noch haben sie überall mit einander Contact, da sie in der Maschine zwar gegeneinander gepresst, aber meist durch eine isolirende Schmiere gezogen werden. Es kommt daher auf die Art der Fabrication an, ob man den Werth von $W_1$, $W_2$ oder $W_3$ benützen soll. In zweifelhaften Fällen nimmt man kurz den Mittelwerth $W_1$. Ausserdem darf man nicht vergessen, die Dehnung in Betracht zu ziehen, welche die Drähte beim Zusammendrehen und Umpressen erleiden, da dies den Widerstand ebenfalls beeinflusst.

Die Querschnitts-Dimensionen des Drahtes können aus dem Gewichte pro Längeneinheit leicht bestimmt werden. Nimmt man die Dichte des Kupfers $= 8{\cdot}889$, so findet man für den Querschnitt $q$ eines Kupferdrahtes, von dem ein Meter $p$ Gramm wiegt:

Querschnitt in Quadratmillimetern $= 0{\cdot}1123\,p$.

### 8. Isolirung der Kabelseele.

Als Isolationsmaterial des Leitungsdrahtes verwendet man gegenwärtig fast nur ganz reine Guttapercha oder Kautschuk, in einzelnen Fällen auch Asphalt.

Durch Verwendung sehr feiner Messinstrumente gelingt es, auch bei diesen vorzüglichen Isolatoren eine

geringe Leitungsfähigkeit nachzuweisen und den specifischen Leitungswiderstand derselben zu ermitteln. Die von verschiedenen Beobachtern gewonnenen Resultate weichen jedoch sehr von einander ab, da die chemische Zusammensetzung und moleculare Structur der genannten Isolatoren nicht immer ganz die nämliche ist.

Ayrton und Perry fanden den Widerstand der Guttapercha beim Erkalten von 83° bis 44° gleich 0·5 bis 8·9 Millionen Megohm, des vulcanisirten Kautschuk beim Erkalten von 90·7° bis 67° gleich 1015 bis 5391 Millionen Megohm.

Der Isolationswiderstand des Kautschuk ist also weitaus grösser als jener der Guttapercha. Die letztere besitzt jedoch in anderen Hinsichten, die wir später erörtern werden, so wesentliche Vortheile gegen Kautschuk, dass man sie als Isolationsmaterial unbedingt vorzieht.

Der Kautschuk kam zu Anfang des vorigen Jahrhunderts in Form von Flaschen und Beuteln nach Europa, ohne dass man über seine Gewinnung etwas Näheres erfahren konnte. De la Condamine*) gab 1735 an, dass es der eingetrocknete Milchsaft einer Pflanze sei. Nach Schleiden findet er sich in allen Milchsaft absondernden Pflanzen. Als besonders kautschukreiche Pflanzenfamilien sind die Artocarpeen (Ficus elastica in Ostindien), Apocyneen (Urceola elastica auf Borneo und Sumatra) und Euphorbiaceen (Siphonia elastica in Südamerika) zu nennen. Ausser diesen dienen noch viele andere Pflanzen zur Kautschukgewinnung, aber nicht in so ausgedehntem Masse.

*) Leiter der französischen Gradmessung in Peru.

Urceola elastica erreicht nach Brockedon schon nach fünf Jahren eine Höhe von 68 m, einen Durchmesser von $^1/_2$—$^3/_4$ m und liefert in einem Jahre 25 bis 30 Kilo Kautschuk. Siphonia elastica, die in grosser Menge in den Ebenen am Amazonenstrom und seinen Nebenflüssen wächst, erreicht ebenfalls bedeutende Dimensionen, eine Höhe von 20—24 m bei einem mittleren Durchmesser von 1 m.

Die Milchsaftgefässe, in denen der kautschukhaltige Milchsaft circulirt, durchziehen die ganze Pflanze.

Um den Milchsaft zu gewinnen, hackt man den Stamm an und befestigt unter der verletzten Stelle ein Gefäss, das den ausfliessenden Saft aufnimmt. Im Laufe eines Morgens liefert jeder Baum beiläufig einen Liter Milchsaft. Während der Blüthezeit liefern die Einschnitte fast gar keinen Milchsaft, und das Einsammeln erleidet eine Unterbrechung.

Kautschuk ist ausgezeichnet durch seine grosse Indifferenz gegen chemische Agentien. Verdünnte Säuren und concentrirte Alkalien greifen ihn weder bei gewöhnlicher, noch bei höherer Temperatur an. Längeres Liegen an der Luft hat eine oberflächliche Oxydation zur Folge. Kautschuk ist weder in warmem, noch in kaltem Wasser löslich, nimmt jedoch bei längerem Liegen im Wasser unter Volumsvermehrung 18—26 % Wasser auf und ist deswegen zur Isolirung der Unterseekabel nicht verwendbar.

Kautschuk schmilzt beim Erhitzen auf 120°, bleibt aber, einmal geschmolzen, auch nach dem Erkalten weich und klebrig und trocknet selbst in sehr dünnen Schichten erst nach langer Zeit aus; beim Schmelzen

verbreitet er einen eigenthümlichen Geruch und brennt, stärker erhitzt, mit hell leuchtender Flamme. Der Import dieses Stoffes, dessen Preis je nach der Güte 2—5½ fl. per Kilogramm beträgt, war in England

| Im Jahre | Tonnen à 1000 Kilo*) |
|---|---|
| 1856 . . . . . | 1253 |
| 1861 . . . . . | 1538 |
| 1866 . . . . . | 3087 |
| 1871 . . . . . | 6129 |
| 1876 . . . . . | 6864 |
| 1878 . . . . . | 6796 |

Um Telegraphendrähte durch Kautschuk zu isoliren, wendet man entweder die schraubenförmige Bewickelung an**) oder legt den Draht zwischen zwei schmale parallele Kautschukstreifen und lässt ihn so ein Walzenpaar passiren, das die Kautschukstreifen fest anpresst und gleichzeitig beiderseits schmale Kautschukstreifchen wegschneidet. Die frisch geschnittenen Ränder haften dann fest aneinander. Zur Sicherheit gibt man noch eine zweite Lage Kautschuk, welche die Nähte der vorherigen bedeckt. (Fig. 7.)

In anderer Art hat Hooper seine mit Kautschuk isolirten Drähte hergestellt. Da Kautschuk in unmittelbarer Berührung mit Kupfer leicht verdirbt, überzieht Hooper die Kupferadern vor ihrer Verseilung mit Zinn. Die verzinnten Litzen werden dann mit einer doppelten Lage von dünnen Bändern aus reinem Kautschuk spiralförmig umwunden und darauf mit einer einfachen oder doppelten Trennschicht versehen. Die letztere

*) Zetzsche, Handb. III. Bd., S. 193.

**) Vergl. 1. Cap., S. 4.

besteht ebenfalls aus Kautschuk, dem ein Drittel seines Gewichtes Zinkoxyd beigemengt wurde, und wird in Bandform schraubenartig aufgewickelt.

Auf die Trennschicht kommt nun eine Composition von 84 Theilen Kautschuk, 6 Theilen Schwefel und 10 Theilen Schwefelblei, die in der zuerst beschriebenen Weise in Form von parallelen Bändern auf den schon isolirten Draht aufgepresst wird. Diese Schicht hat nicht so sehr den Zweck, die Isolation zu erhöhen, als jenen, die reine Kautschukisolation gegen die oxydirende Wirkung der Luft und das Aufquellen im Wasser zu schützen. Das sichere Zusammenhalten der Nähte der letzten Kautschukschicht wird durch Bewickeln mit einem Filzbande aus Baumwolle bewirkt.

Fig. 7.

Die Drähte werden schliesslich aufgerollt, in hermetisch verschliessbaren Eisencylindern mit Kreidepulver bedeckt und bei einem Drucke von drei Atmosphären auf 121°C. erhitzt.

Die Kreide verhütet das Zusammenkleben der Drähte und eine ungleiche Erwärmung. Sämmtliche Kautschukschichten backen zu einer homogenen Masse zusammen, doch hindert die Trennschicht das Vordringen des Schwefels in der äussersten Schicht bis zur reinen Guttapercha. Der Hooper'sche Draht kann Temperaturen bis zu 60° aushalten, ohne dass die Isolirungsmasse weich oder viel besser leitend würde, wie dies bei Guttapercha der Fall, und empfiehlt sich insbesondere für das tropische Klima.

### 9. Eigenschaften der Guttapercha.

Die ganz reine Guttapercha hat eine grauweisse Farbe; die besten Sorten, die im Handel vorkommen, sind fast weiss, mit einem Stich ins Röthliche oder Gelbliche. Zum Zwecke der Reinigung löst man rohe Guttapercha in Chloroform oder Schwefelkohlenstoff, filtrirt und lässt dann das Lösungsmittel freiwillig verdunsten.

Nach dem Austrocknen bleibt in den Gefässen eine dünne Haut aus reiner Guttapercha zurück, die man leicht ablösen kann, wenn man das Gefäss einige Minuten lang in kaltes Wasser taucht, das die Guttapercha umspült. Die Verunreinigungen bleiben auf dem Filter zurück. So gereinigt, ist die Guttapercha fast weiss, in dünnen Platten durchscheinend und fühlt sich fettig an. Das specifische Gewicht der käuflichen Guttapercha ist nach Soubeiron*) im Mittel gleich 0·98 gr per Kubikcentimeter, somit etwas geringer als jenes des Wassers. Da Guttapercha auf dem Wasser schwimmt, muss bei Unterseekabeln durch eine entsprechend schwere Schutzhülle dafür gesorgt werden, dass das Kabel untersinkt.

Die Leitungsfähigkeit der Guttapercha für Wärme und Elektricität ist ausserordentlich gering und mit der Temperatur veränderlich. Mit steigender Temperatur nimmt der Leitungswiderstand der Guttapercha ab, ein Verhalten, das wir auch bei elektrolysirbaren Flüssigkeiten bemerken. Die Abnahme des Widerstandes der Guttapercha ist jedoch weit grösser, als jene der übrigen,

*) Dingler, Journal 103, 415. Journ. de Pharm. 1847, S. 17.

bisher untersuchten Körper. Der Widerstand der concentrirten Kupfervitriollösung sinkt beim Erwärmen um 40° C. nahezu auf die Hälfte seines früheren Werthes.

Guttapercha hingegen braucht man nur um 5° zu erwärmen, um den Widerstand derselben auf die Hälfte zu reduciren. Auch das Gesetz der Widerstandsänderung ist ein ganz anderes, als jenes für Metalle und Flüssigkeiten. Für die letzteren ist innerhalb der Temperaturgrenzen 0 und 50° C. der Leitungswiderstand praktisch genau als eine lineare Function der Temperatur darstellbar.

Für chemisch reine Metalle gilt bekanntlich die Näherungsformel:

$$w_t = w_0 (1 + \gamma t)$$

wobei $w_0$ der Widerstand bei 0°, $w_t$ jener bei $t$° C. ist.

Für leitende Flüssigkeiten gilt nahezu das Gesetz:

$$w_t = w_0 (1 - \alpha t).$$

Für Guttapercha hingegen lässt sich $w_t$ als Exponential-Function von $t$ darstellen.

Die ersten genaueren Untersuchungen über den Einfluss der Temperatur auf die Leitungsfähigkeit der Guttapercha wurden von Bright und Clark an vier Proben des für den Persischen Golf bestimmten Kabels angestellt. Jedes Stück hatte die Länge einer Seemeile (1852 m) und wurde in einen eisernen Behälter gebracht, der beiläufig 6 m³ Wasser fasste.*) Vor der Untersuchung liess man die Kabelstücke drei Tage im Wasser liegen und sorgte durch Hinzufügung von Eis dafür, dass die Temperatur fortwährend auf 0° erhalten wurde. Man bestimmte den Leitungswiderstand bei 0° und erhöhte

*) m³ = Kubikmeter.

dann successiv die Temperatur bis auf 38°, wobei von Zeit zu Zeit Messungen des Widerstandes ausgeführt wurden. Die Untersuchung währte 31 Tage und es wurden im Ganzen 19 Beobachtungsreihen durchgeführt.

Die Resultate sind in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst, wobei der Widerstand der Guttapercha bei 0° gleich 100 gesetzt wurde.

| Temperatur | Widerst. d. Guttapercha | Temperatur | Widerst. d. Guttapercha | Temperatur | Widerst. d. Guttapercha | Temperatur | Widerst. d. Guttapercha |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100·00 | 10 | 28·97 | 20 | 8·45 | 30 | 2·99 |
| 2 | 84·14 | 12 | 23·18 | 22 | 6·82 | 32 | 2·48 |
| 4 | 64·66 | 14 | 16·89 | 24 | 5·51 | 34 | 1·92 |
| 6 | 47·65 | 16 | 14·37 | 26 | 4·47 | 36 | 1·68 |
| 8 | 37·15 | 18 | 11·05 | 28 | 3·51 | 38 | 1·43 |

In Uebereinstimmung mit den Untersuchungen von Siemens und Fleeming-Jenkin haben Bright und Clark folgende empirische Formel zur Berechnung des Widerstandes einer Guttaperchahülle bei einer gegebenen Temperatur aufgestellt:

$$w_t = w_0 \times 0{\cdot}8944^t,$$

wobei $t$ in Celsiusgraden ausgedrückt ist.

Misst man nach Fahrenheit'schen Graden, so lautet die Formel: $w_t = w_0 \times 0{\cdot}9399^t$.

Der in der ersten Formel gegebene Factor ist nicht genau derselbe für verschiedene Guttaperchasorten und gibt auch die Beobachtungen, aus denen er abgeleitet wurde, nur mit ungenügender Genauigkeit wieder. Berechnet man mit diesem Factor (0·8944) beispielsweise den Widerstand der Guttapercha bei 10°, wenn jener bei 0° gleich 100 gesetzt wird, so erhält man die Zahl 32·77, während die Beobachtung 28·97 ergibt.

Eine genauere Anschmiegung an die Beobachtungen gewährt die Formel:

$$w_t = w_0 \times 0{\cdot}87604^t.$$

Nimmt man auf beiden Seiten die Logarithmen, so erhält man:

$$\log w_t = \log w_0 + t \log 0{\cdot}87604,$$

oder

$$\log w_t = \log w_0 - 0{\cdot}05748\, t.$$

Sollen Guttaperchawiderstände, die bei verschiedenen Temperaturen gemessen wurden, mit einander vergleichbar sein, so müssen dieselben auf ein und dieselbe Temperatur, die Normal- (Standart-) Temperatur reducirt werden.

Als solche nimmt man in England 75° Fahrenheit, in Deutschland 15, in Frankreich 24° Celsius an.

Bezeichnen wir den Guttaperchawiderstand bei 15° C. mit $w_{15}$, so ist

$$w_{15} = w_0 \times 0{\cdot}87604^{15}$$
$$w_t = w_0 \times 0{\cdot}87604^t$$

somit

$$\frac{w_{15}}{w_t} = 0{\cdot}87604^{15-t},$$

und durch Logarithmiren:

$$\log w_{15} - \log w_t = (15 - t) \log 0{\cdot}87604,$$

somit ist der reducirte Widerstand:

$$\log w_{15} = \log w_t + 0{\cdot}05748\,(t - 15).$$

Ist $t > 15$, so wird zu $w_t$ ein positives Glied hinzugefügt. Ist hingegen $t < 15$, so muss $w_t$ um einen gewissen Betrag vermindert werden, wie dies ja von vornherein klar ist. Zur raschen Ausführung der Reduction dient eine Tabelle (nach Fröhlich), die wir nachstehend mittheilen. Dieselbe enthält den Factor $c = 0{\cdot}87604^{15-t}$ und dessen Logarithmus für Temperaturen zwischen

0 und 25° C., von halben zu halben Graden fortschreitend.

| t | C | log C | t | C | log C |
|---|---|---|---|---|---|
| 25·0 | 3·757 | 0·57479 | 12·0 | 0·6723 | 9·82756 |
| 24·5 | 3·516 | 0·54605 | 11·5 | 0·6292 | 9·79882 |
| 24·0 | 3·291 | 0·51731 | 11·0 | 0·5890 | 9·77008 |
| 23·5 | 3·080 | 0·48857 | 10·5 | 0·5512 | 9·74135 |
| 23·0 | 2·883 | 0·45983 | 10·0 | 0·5159 | 9·71261 |
| 22·5 | 2·698 | 0·43109 | 9·5 | 0·4829 | 9·68387 |
| 22·0 | 2·526 | 0·40235 | 9·0 | 0·4520 | 9·65513 |
| 21·5 | 2·364 | 0·37361 | 8·5 | 0·4230 | 9·62639 |
| 21·0 | 2·212 | 0·34487 | 8·0 | 0·3960 | 9·59765 |
| 20·5 | 2·071 | 0·31613 | 7·5 | 0·3706 | 9·56891 |
| 20·0 | 1·938 | 0·28739 | 7·0 | 0·3469 | 9·54017 |
| 19·5 | 1·814 | 0·25865 | 6·5 | 0·3247 | 9·51143 |
| 19·0 | 1·698 | 0·22992 | 6·0 | 0·3039 | 9·48269 |
| 18·5 | 1·589 | 0·20118 | 5·5 | 0·2844 | 9·45395 |
| 18·0 | 1·487 | 0·17244 | 5·0 | 0·2662 | 9·42521 |
| 17·5 | 1·392 | 0·14370 | 4·5 | 0·2492 | 9·39647 |
| 17·0 | 1·303 | 0·11496 | 4·0 | 0·2332 | 9·36773 |
| 16·5 | 1·220 | 0·08622 | 3·5 | 0·2183 | 9·33899 |
| 16·0 | 1·142 | 0·05748 | 3·0 | 0·2043 | 9·31025 |
| 15·5 | 1·068 | 0·02874 | 2·5 | 0·1912 | 9·28151 |
| 15·0 | 1·000 | 0·00000 | 2·0 | 0·1790 | 9·25278 |
| 14·5 | 0·9360 | 9·97126 | 1·5 | 0·1675 | 9·22404 |
| 14·0 | 0·8760 | 9·94252 | 1·0 | 0·1568 | 9·19530 |
| 13·5 | 0·8199 | 9·91378 | 0·5 | 0·1467 | 9·16656 |
| 13·0 | 0·7674 | 9·88508 | 0·0 | 0·1373 | 9·13782 |
| 12·5 | 0·7183 | 9·85630 | | | |

Die Reduction ist nun leicht auszuführen.

Hat man z. B. den Guttaperchawiderstand eines Kabels bei 10° C., gleich 2 Millionen Siemens-Einheiten, gefunden, so rechnen wir:

$$w_t = 2 \text{ Mill. S.-E.}$$
$$\log w_t = 0{\cdot}30103$$
$$\log c = 9{\cdot}71261-10 \quad \text{für } 10^0$$
$$\log w_o = 0{\cdot}01364$$
$$w_o = 1{\cdot}0319 \text{ Mill. Siemens-Einheiten.}$$

Der elektrische Leitungswiderstand der Guttapercha ist ausserdem noch von der Zeit abhängig, während welcher durch die Masse ein elektrischer Strom fliesst.

Im Allgemeinen wird der Widerstand der Guttapercha durch strömende Elektricität vergrössert. Diese Vergrösserung ist um so beträchtlicher, je länger der Strom einwirkt. Hiebei ist aber die Temperatur von grossem Einflusse.

Lässt man durch Guttapercha von 4° C. einen elektrischen Strom 40 Minuten hindurchfliessen, so vermehrt sich der Widerstand auf das Doppelte, bei 16° und gleicher Elektrisirungszeit beträgt die Vermehrung des Widerstandes nur die Hälfte des ursprünglichen.

Nachdem es noch nicht gelungen ist, den Zusammenhang zwischen Elektrisirungszeit, Temperatur und Widerstand der Guttapercha in befriedigender Weise durch eine mathematische Formel darzustellen, geben wir hier eine diesbezügliche Tabelle.*)

| Celsius | 24° | 22° | 20° | 18° | 16° | 14° | 12° | 10° | 8° | 6° | 4° | 2° | 0° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Z=$ 1 | 1·00 | 1·00 | 1·00 | 1·00 | 1·00 | 1·00 | 1·00 | 1·00 | 1·00 | 1·00 | 1·00 | 1·00 | 1·00 |
| 2 | 1·07 | 1·09 | 1·10 | 1·10 | 1·11 | 1·11 | 1·11 | 1·12 | 1·15 | 1·17 | 1·20 | 1·23 | 1·28 |
| 3 | 1·13 | 1·14 | 1·15 | 1·15 | 1·15 | 1·15 | 1·17 | 1·18 | 1·21 | 1·24 | 1·29 | 1·33 | 1·44 |
| 4 | 1·17 | 1·18 | 1·18 | 1·19 | 1·20 | 1·21 | 1·23 | 1·25 | 1·27 | 1·30 | 1·35 | 1·41 | 1·58 |
| 5 | 1·20 | 1·21 | 1·22 | 1·23 | 1·24 | 1·25 | 1·26 | 1·29 | 1·32 | 1·34 | 1·39 | 1·47 | 1·64 |
| 10 | 1·28 | 1·29 | 1·30 | 1 31 | 1·33 | 1·34 | 1·36 | 1·40 | 1·44 | 1·48 | 1·57 | 1·68 | 1·91 |
| 15 | 1·31 | 1·33 | 1·34 | 1·35 | 1·37 | 1·40 | 1·43 | 1·47 | 1·52 | 1·59 | 1·67 | 1·82 | 2·11 |
| 20 | 1·33 | 1·35 | 1·37 | 1·39 | 1·41 | 1·45 | 1·48 | 1·53 | 1·58 | 1·65 | 1·76 | 1 92 | 2·29 |
| 30 | 1·35 | 1·37 | 1·39 | 1·42 | 1·45 | 1·49 | 1·55 | 1·60 | 1·67 | 1·76 | 1·89 | 2·08 | 2·53 |
| 40 | 1·37 | 1·40 | 1·43 | 1·47 | 1·51 | 1·56 | 1·62 | 1·69 | 1·74 | 1·87 | 2·03 | 2·22 | 2·71 |

In der ersten Zeile sind die Temperaturen angegeben. Die erste linke Seitencolonne gibt die Elektri-

*) Zetzsche, Handbuch der elektr. Telegraphie. II. Bd.

sirungszeit $Z$ in Minuten. Dabei wurde der Widerstand nach 1 Minute Elektrisirungszeit gleich 1 gesetzt.

Nachdem die transatlantischen Kabel oft enorm tief unter dem Meeresspiegel zu liegen kommen, ist es wichtig, auch den Einfluss des Druckes auf die Guttapercha kennen zu lernen. Einer Tiefe von 10 m (genauer 1033 cm) entspricht eine Vermehrung des Druckes um eine Atmosphäre.*) Liegt also ein Kabel 3000 Meter unter dem Meeresspiegel, so hat es einen Druck von mehr als 300 Atmosphären auszuhalten.

Durch Druck vermehrt sich der Widerstand der Guttapercha, und es ist die Vermehrung des Widerstandes dem Druckzuwachse direct proportional. Bedeutet $R$ den Widerstand der Guttapercha bei gewöhnlichem Luftdrucke, $p$ die Grösse des auf einen Quadratcentimeter entfallenden Druckes in Kilogramm, so ist der Leitungswiderstand der Guttapercha $= R\ (1 + 0{\cdot}00327\ p)$.**)

Schon durch gelindes Erwärmen wird die Guttapercha weich und plastisch, und ist dann leicht zu verarbeiten. Bei $25^0$ C. wird sie schon biegsam, bei $48^0$ beginnt sie zu erweichen und lässt sich unter Anwendung sehr starken Druckes kneten. Zwischen 55 und $60^0$ wird sie vollkommen plastisch und lässt sich zu Röhren, Fäden und Bändern ausziehen und pressen.

Dem Einflusse der meisten Lösungsmittel widersteht Guttapercha vollkommen. Concentrirte Lösungen von Alkalien, alle Salzlösungen, verdünnte Säuren, selbst Flusssäure haben keine Wirkung. Im Meerwasser erhält sich Guttapercha viele Jahre lang ganz unverändert. Man

*) 1·033 Kilo per Quadratcentimeter $= cm^2$.

**) Agendas Dunod. Nr. 5. Paris.

hat Reste von Guttaperchadrähten aus dem Meere aufgewunden, die nach mehr als fünfzehnjährigem Liegen im Wasser noch vollkommen frisch und unversehrt waren und nichts an Isolationsfähigkeit eingebüsst hatten.

Guttapercha wird in der Kälte rasch von Salpetersäure unter Entwickelung rother Dämpfe zerstört. Vitriolöl färbt sich in der Kälte in Berührung mit Guttapercha allmälig braun; die Substanz quillt auf und bildet eine schleimige Masse. Beim Erwärmen schwärzt sich die Säure und die Guttapercha wird vollständig zerstört und verkohlt.

Concentrirte Salzsäure übt nur einen äusserst geringen Einfluss auf die Guttapercha aus; erst nach langer Zeit bemerkt man eine Veränderung derselben, die sich darin äussert, dass die Masse spröd und brüchig wird.

Bei 120° C. schmilzt die Guttapercha und bildet eine dünne, leicht bewegliche Flüssigkeit, die einige Zeit lang gekocht werden kann, ohne sich merklich zu färben. Die Bestandtheile verändern jedoch ihre chemische Gruppirung. Die Dämpfe, welche sich entwickeln, können zu einer Flüssigkeit condensirt werden, die jedoch beim Erkalten nicht erstarrt und selbst ein ausgezeichnetes Lösungsmittel für die Guttapercha bildet.

Wie schon erwähnt, löst sich Guttapercha leicht in Chloroform und Schwefelkohlenstoff, bei gelindem Erwärmen auch in Benzol, Terpentinöl und Steinöl, theilweise auch in kochendem Alkohol.

## 10. Schutzmittel für unterirdische Leitungen.

Guttapercha, wenn auch ausserordentlich widerstandskräftig gegen chemische Einflüsse, ist viel zu weich, um allein auf die Dauer die sichere Isolirung zu gewährleisten.

Um die Isolirschicht gegen mechanische Einflüsse, Spatenstiche, Benagung durch Thiere u. s. w. zu schützen, muss ein festes Umhüllungsmaterial verwendet werden. Die grösste Verbreitung haben Eisen- und Bleiumhüllungen gefunden.

Ueber die Erhaltung des Bleies in der Erde liegen alte Erfahrungen vor. In reinem Sand- oder Thonboden, welcher keine vegetabilischen Bestandtheile enthält, hat es sich Jahrhunderte, ja Jahrtausende lang gut erhalten. Durch Einwirkung des Sauerstoffes der Luft bildet sich zwar auch in gewisser Tiefe unter der Erdoberfläche eine Oxydhaut auf der Oberfläche des Bleies, doch nur in dem Falle dringt diese Zersetzung tiefer ein, wenn ein gleichzeitiger Zutritt von Kohlensäure die Bildung von Bleiweiss möglich macht.

Wenn man beim Eingraben von Bleiröhren einige Sorgfalt darauf verwendet, dass keine vegetabilischen Bestandtheile in die unmittelbare Umgebung des Drahtes kommen, so kann man auf die dauernde Erhaltung selbst dünner Bleiröhren mit Sicherheit rechnen.

Sollte aber auch durch irgend einen Umstand das Blei an einer Stelle zerstört und die Guttapercha blossgelegt werden, so würde die gute Isolation des Drahtes hierdurch nur dann gefährdet sein, wenn dieselben Einflüsse, welche das Blei nach und nach zerstörten, in

gleicher Weise auf die Guttapercha wirkten, was bei der gänzlichen Verschiedenheit der beiden Substanzen wohl nie der Fall sein kann. Die Bleihülle verhindert ferner Beschädigungen des isolirenden Guttaperchaüberzuges während des Transportes und beim Verlegen, macht demnach stattgefundene Beschädigungen leichter erkennbar und entzieht die Guttapercha auch bei nicht allzu tiefem Eingraben den Einflüssen der Luft.

Die Guttapercha muss sich, auch wenn sie nicht von ganz vorzüglicher Beschaffenheit ist, in der, sie allen äusseren Einflüssen entziehenden Bleiröhre vollständig erhalten. So z. B. kann das, in verbrannter Guttapercha enthaltene flüchtige Oel, durch dessen Verdunsten die ungeschützte Masse im Erdboden bald erhärten und brüchig werden würde, nicht entweichen, bleibt daher in der Guttapercha und erhält sie biegsam. Besonders für Stadtleitungen, wo das, hie und da den Gasleitungen entströmende Leuchtgas der Guttaperchahülle gefährlich wird, hat man vielfach Bleiumhüllungen angewendet.

Die einfachste Methode, Bleihüllen herzustellen, besteht darin, dass man eine schraubenförmige Umwickelung mit einem dünnen Bleibande vornimmt.

Zur Erzeugung eines continuirlichen Bleiüberzuges verwendet Elliot in Berlin eine Bleipresse, welche eine, der zuerst verwendeten Guttaperchapresse von Siemens & Halske ähnliche Einrichtung besitzt.

Als Beispiel einer grösseren Leitungsanlage mit Bleikabeln führen wir die Pariser Stadtleitung an.

Von den mit Guttapercha bekleideten Leitungsdrähten sind je 3, 5 oder 7 durch Umwickelung mit einem getheerten Bande zu einem Strange vereinigt und mit einer

2 mm dicken Bleihülle versehen. Die Taue werden in Haken von galvanisirtem Eisen gelegt, welche in Abständen von 80 cm an den Seitenwänden der Canäle angebracht sind.

### II. Landkabel mit Drahtschutz.

Wenn auch für die beschränkten und wenig gefährdeten Leitungsanlagen in Städten die einfachen Bleikabel ganz gute Dienste leisten, vermeidet man es doch gerne, dieselben zur Herstellung langer exponirter Verbindungen von hoher Wichtigkeit zu verwenden, und greift dann zur eisernen Schutzhülle. Dieselbe wird aus entsprechend starken Drähten, die dicht nebeneinander liegen und nach der Form steiler Schraubenlinien gekrümmt sind, gebildet.

Vor der Erbauung des deutschen Untergrundnetzes hatte die Reichs-Telegraphenverwaltung eine technische Commission ernannt, welche im Frühjahre 1875 zusammentrat und nach eingehender Berathung und nach Besprechung mit Fachmännern, insbesondere Englands, alle Constructionsdetails des Kabels festsetzte. Wir halten die Construction der deutschen Reichskabel für mustergiltig und geben hier die Beschreibung einer viel verwendeten Type (Fig. 8). Dieselbe enthält 7 Kabellitzen, deren jede aus sieben einzelnen Drähten von 0·7 mm Durchmesser zusammengesetzt ist. Jede Litze ist mit einer Doppelschicht Guttapercha umpresst und besitzt sammt der isolirenden Doppelhülle einen Durchmesser von 6 mm. Die blanken Litzen werden vor dem Umpressen mit Kautschuk mit Chatterton-Compoundmasse überzogen. Ebenso ist die erste Guttaperchahülle von der zweiten

durch eine Schicht des gleichen Materiales getrennt. Die zwischen den einzelnen Guttaperchaadern sich bildenden Zwischenräume werden durch Jutefäden $J$ ausgefüllt. Ueber das Ganze kommt nun eine 6 mm dicke Wickelung aus getheertem Hanf und erst auf diesen legt man die äussere Armatur, aus 18 verzinkten Eisendrähten $S$, von je 3·8 mm Stärke, bestehend. Diese bilden steile Schraubenlinien von 24—32 cm Ganghöhe.

Das so hergestellte Kabel wird nun asphaltirt, nochmals mit 1·5 mm dickem Garn umsponnen und diese Garnhülle $A$ mit einer Schicht Clarks-Compound überzogen. Um das Aneinanderhaften der einzelnen Ringe des Kabels beim Aufwickeln zu vermeiden, versieht man es noch mit einem Anstrich aus Kalkmilch.

Fig. 8.

Die sieben, in Fig. 8 gezeichneten Kabeladern müssen von einander unterscheidbar sein. Zu diesem Zwecke ist es nöthig, dass mindestens zwei äussere Litzen, die sich nicht diametral gegenüberliegen, unter einander und von den übrigen verschieden sind. Aus diesem Grunde erhält die zweite Guttaperchahülle der Litze $G_1$ eine ausspringende Längsriefe. Die nächste Litze bekommt zwei Riefen. Die übrigen sind vollständig kreisrund. Man denkt sich nun $G_1$ mit Nr. 1, $G_2$ mit Nr. 2 und die übrigen in der Peripherie liegenden Adern mit den fortlaufenden Nummern 3, 4, 5 und 6, die centrale Ader mit 7 bezeichnet, und ist dann immer im Stande, die gleichnamigen Litzen zu verbinden.

Je nach dem Zwecke ändert sich sowohl die Zahl der Adern, als auch die ganze Bauart der Kabel. Man verwendet eine bis sieben Litzen, deren jede entweder drei oder sieben Drähte enthält.

Flusskabel bekommen eine stärkere Armatur. Fig. 9 zeigt den Querschnitt eines Flusskabels, das mit 13 verzinkten Eisendrähten von 8·6 mm Durchmesser umgeben ist. Dasselbe dient zur Fortsetzung des Kabels Fig. 8.

Fig. 9.

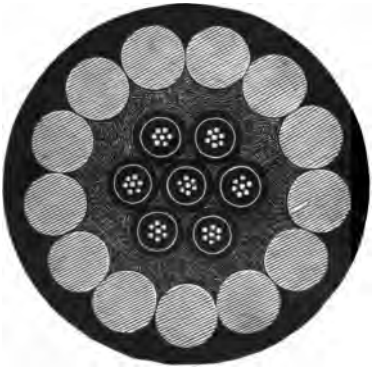
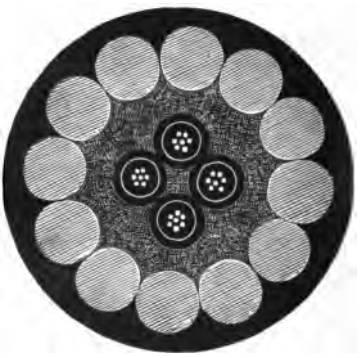


Fig. 10.



Mehrere Linien des deutschen Kabelnetzes sind auch vieraderig ausgeführt (Fig. 10). Von der Unternehmung Felten & Guillaume wurden folgende Linien gelegt:

| Linie | Kilometer Länge |
|---|---|
| Berlin—Hannover—Köln . . . . . | 693·186 |
| Halle—Frankfurt a. M.. . . . . | 388·820 |
| Metz—Strassburg, beiläufig . . . . . | 185 |
| Berlin—Halle . . . . . | 169·448 |
| Köln—Elberfeld—Barmen, beiläufig . . . | 56 |
| Frankfurt—Mainz. . . . . | 36·667 |

| Linie | Kilometer Länge |
|---|---|
| Halle—Leipzig . . . . . | 35·460 |
| Köln—Koblenz—Metz, beiläufig . . . . | 6 |

Die Kabel der kurzen Linie Köln—Elberfeld—Barmen waren vieraderig, die übrigen siebenaderig.

Von der Firma Siemens & Halske wurden folgende Linien gelegt:

| Linie | Kilometer Länge |
|---|---|
| Berlin—Hamburg Nr. 1 . . . . . | 297·988 |
| Berlin—Hamburg Nr. 2 . . . . . | 297·939 |
| Hamburg—Emden, beiläufig . . . . . | 284·5 |
| Frankfurt—Strassburg . . . . . | 262·677 |
| Berlin—Dresden, beiläufig . . . . . | 236·3 |
| Hamburg—Cuxhafen . . . . . | 130·764 |
| Hamburg—Kiel . . . . . | 100·262 |
| Bremerhafen—Wilhelmshafen, beiläufig . . | 70·4 |

Die Linien Hamburg—Cuxhafen und Bremerhafen—Wilhelmshafen waren vieraderig, die übrigen Linien mit sieben Adern angelegt.

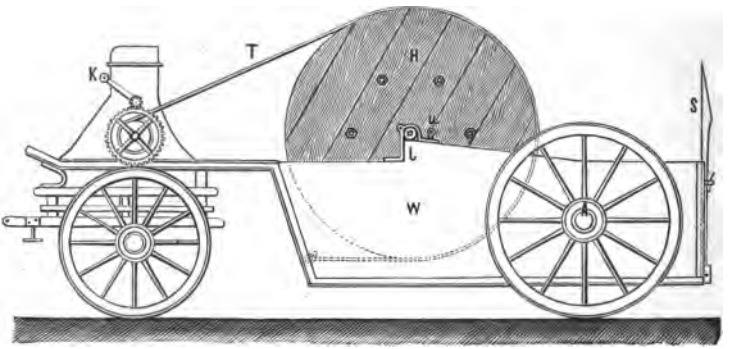
### 12. Verlegung unterirdischer Kabel.

Als Beispiel einer, mit grosser Sorgfalt ausgeführten und in vielen Hinsichten mustergiltigen Kabellegung geben wir hier die Beschreibung des Vorganges bei der Herstellung der ersten grossen deutschen Untergrundlinie, Halle—Berlin, welche von der Firma Felten und Guillaume durchgeführt wurde.

Man war bestrebt, schon bestehende Communicationen thunlichst auszunützen und hatte die Alternative, das Kabel entweder längs der Eisenbahn oder an der Fahrstrasse zu legen.

Die Entscheidung fiel trotz der höheren Kosten zu Gunsten der Trace längs der Chausseen aus, da das Erdreich der Eisenbahndämme als noch nicht hinreichend consolidirt betrachtet wurde. Das Kabel wurde in 800 m langen Stücken geliefert, die auf Trommeln von etwas mehr als 1 m Durchmesser aufgerollt waren. Das Gewicht der Landkabel betrug 2 kg per laufenden Meter, jenes der vollgewickelten Kabeltrommel über drei Tonnen.

Fig. 11.




Jede der mächtigen Kabelspulen war mit einer Achse versehen und ruhte in Lagern auf einem, mit zwei Pferden bespannten Wagen (Fig. 11).

Die U-förmige Achse *A* gestattet die Einführung des Haspels *H* in den, an seinem rückwärtigen Ende mit einer Thür versehenen Wagenkasten *W*, auf dessen starken Seitenwänden die Lager *l* befestigt sind, in denen ein durch den Haspel gesteckter Rundeisenstab ruht. Derselbe wird durch ein Ueberwurfstück *u* festgehalten. Beim Aufladen des Haspels klappt man die Schrotleiter *S* um, schlingt das Tau *T* um den Haspel und dreht nun

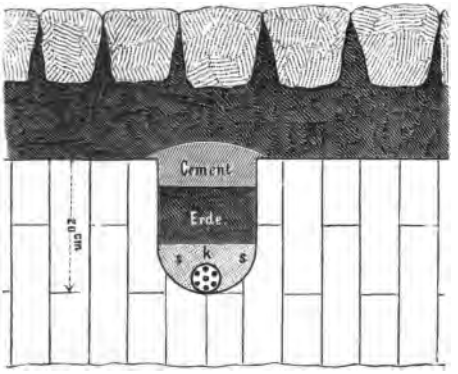
die Kurbel *K*, welche ein Vorgelege bewegt, das in ein grösseres Zahnrad eingreift. Auf gleicher Achse mit dem letzteren sitzt eine Seiltrommel fest, auf welcher das Tau *T* aufgewunden wird.

Dreiviertel Meter vom Strassenrande entfernt wurde ein Graben von $^1/_2$ m Tiefe zur Aufnahme des Kabels gezogen. Im Ganzen waren drei Arbeiterbrigaden in Thätigkeit. Die erste besorgte die Herstellung des Grabens, die zweite das Verlegen des Kabels, die dritte das Zuschütten des Grabens. Unter gewöhnlichen Verhältnissen zählte die erste Brigade 120 Mann, die per Tag einen Graben von 4 km Länge herzustellen im Stande waren. Bei hartem Boden waren 170 Leute nöthig. Das Wiederausfüllen des Grabens besorgten 24 Mann. Bei Verwendung von im Ganzen 200 Arbeitern war der mittlere Fortschritt des Kabels $2^1/_2$ km per Tag. Nur an einer einzigen Stelle, bei Hohenthurm, waren grössere Schwierigkeiten zu überwinden, da der Graben auf eine Länge von 400 m aus Porphyrfelsen mittelst Dynamit ausgesprengt werden musste, eine Arbeit, welche von 30 Mann in 14 Tagen bewältigt wurde. Der Kabelwagen fährt langsam neben dem Graben, während zwei Arbeiter das richtige Abrollen des Kabels besorgen. Um den Asphaltüberzug herzustellen, wurde an den Kabelwagen ein auf Rädern laufendes Asphaltreservoir angehängt, durch welches das Kabel vor seiner Verlegung hindurchgezogen wurde. Das Kabel selbst wird von drei Arbeitern mit langen Hacken im Graben auf richtiger Stelle verlegt.

So lange keine Hindernisse, z. B. Bahnschienen, Canäle, Wasserleitungsröhren u. s. w., unter denen das Kabel hindurchgezogen werden muss, vorkommen, leistet

der Asphaltwagen ganz gute Dienste. Gelangt man aber an derartige Hindernisse, so muss das ungetheerte Kabel von Menschenhand unter denselben durchgezogen und erst nachträglich asphaltirt werden. Dabei ist es oft nöthig, die Länge eines Kabelstückes auf 400 m zu reduciren. Man hat deshalb später Kabel verwendet, die schon in der Fabrik den Asphaltüberzug erhielten, und

Fig. 12.




dadurch die Unzukömmlichkeiten, die mit der Verwendung eines Asphaltwagens verbunden sind, vermieden. Führt man das Kabel unter einem Schienengeleise durch, so empfiehlt es sich, dasselbe durch Thonröhren zu schützen. Dieselben werden gelegt und gleichzeitig ein Draht eingezogen, den man dann zum Hindurchziehen des Kabels benützt.

Beim Verschütten des Grabens muss dicht über dem Kabel eine 10 cm hohe Schicht Erde oder Sand aufgebracht werden, die sorgfältig von Steinen befreit wurde.

An besonders exponirten Stellen verwendet man Ziegel zum Schutze des Kabels. Fig. 12 zeigt eine derartige Anordnung. Das Kabel *k* wird in eine gemauerte Rinne gelegt, mit Schlackenwolle *ss* umgeben und diese mit Erde bedeckt. Durch eine Cementschicht wird die Rinne vollständig abgeschlossen.

Die Arbeit begann am 14. März und endete mit dem 27. Mai, was einem Zeitaufwande von 58 Tagen entspricht. Im Ganzen wurden 179 Kabelstücke à 800 m verlegt. Die Länge der Linie betrug 143 km, die mittlere Tagesleistung 2470 m.

An 10 Tagen wurde je 1 Kabelstück von 800 m verlegt
» 9 » wurden » 2 Kabelstücke » 800 m »
» 12 » » » 3 » » 800 m »
» 16 » » » 4 » » 800 m »
» 9 » » » 5 » » 800 m »
» 1 Tage » sogar 6 » » 800 m »

### 13. Verbindung der Kabeladern.

Beim Auslegen der einzelnen Kabelstücke ist dafür zu sorgen, dass sich dieselben an den Enden um ein entsprechendes Stück übergreifen.

Den Graben lässt man an jenen Stellen, wo die Kabel gespleisst werden müssen, offen und erweitert ihn zu einer quadratischen Grube von beiläufig $1^1/_2$ m Breite und Länge, über welche dann ein Zelt errichtet wird, um die Arbeiter bei der, mit grösster Sorgfalt vorzunehmenden Operation des Spleissens gegen Wind und Regen zu schützen.

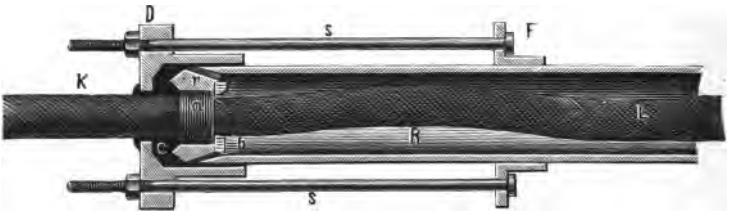
Den Boden der Grube bedeckt man mit Brettern, um auf dieselben die Werkzeuge zu legen, und für die

Bank, in welche die Kabeladern eingeklemmt werden, einen sicheren Standort zu gewinnen.

Nun stellt man in beiläufig 40 cm Entfernung vom Kabelende einen Drahtbund *a* her, schiebt über denselben den konischen Ring *r* (Fig. 13), wickelt dann die eisernen Schutzdrähte los, biegt sie rechtwinkelig um und schneidet dieselben knapp am Rande des Ringes *r* weg.

Dieses Verfahren ist nothwendig, um einer Lockerung der eisernen Schutzhülle vorzubeugen. Die Jutefäden wer-

Fig. 13.




den nun auseinander gewickelt, jedoch nicht abgeschnitten, da sie nachträglich wieder in Verwendung kommen.

Nun entblösst man die Kupferadern und bringt sie durch sorgfältiges Verlöthen mit den correspondirenden Adern des zweiten Kabels in leitende Verbindung. Eine genaue Beschreibung dieser Arbeit, sowie der darauf folgenden Löthstellenprüfung, findet sich im XVI. Bd. der »Elektrotechnischen Bibliothek«.

Die Verbindungsstelle wird dann durch ein gusseisernes Rohr — die Verbindungsmuffe — geschützt.

Fig. 13 zeigt den Längsschnitt einer solchen Muffe in $^1/_5$ der natürlichen Grösse. Dieselbe muss nebst den zugehörigen Deckeln (*D*) vor der Herstellung der Löthung

auf das Kabel aufgesteckt werden. Das volle Rohr $R$ ist etwas mehr als 1 m lang. Mit Hilfe der angelötheten Flanschen $F$ werden die Deckel $D$ durch die mit Schraubenmuttern versehenen Zugstangen $s$ festgehalten. Zwischen den Ring $r$ und Deckel $D$ kommt dickflüssiger Mastixkitt, der nicht eintrocknet. Hierdurch ist für einen vollkommenen Luftabschluss gesorgt. Nachdem noch die örtliche Lage der Verbindungsstelle durch eine genaue Vermessung festgestellt wurde, überdeckt man dieselbe mit Erde.

## II. Abschnitt.

# Die unterseeischen Leitungen.

### 1. Geschichtliches.

Die gewaltigen Umwälzungen, welche der elektrische Telegraph im gesammten Verkehrswesen des Erdballes hervorrief, insbesondere die mächtige Förderung, welche ihm Handel und Schifffahrt zu verdanken hatten, musste vor Allem bei den betriebsamen Engländern und Amerikanern den lebhaften Wunsch nach einer directen Verbindung mit dem Festlande der alten Welt wachrufen.

Schon 1840 unterbreitete Wheatstone dem englischen Unterhause einen Plan über die telegraphische Verbindung von Frankreich mit England (Dover-Calais), und im August 1843 plaidirte der um die Telegraphie so hoch verdiente Professor Morse in einem Schreiben an den Schatzsecretär der Vereinigten Staaten lebhaft für die Herstellung einer telegraphischen Verbindung zwischen Europa und Amerika.

Schon 1842 hatte Morse an einem im Hafen von New-York versenkten Kupferkabel mit Erfolg zu telegraphiren versucht.

Drei Jahre später legte Ezra Cornell bei dem, 12 engl. Meilen von New-York entfernten Fort Lee eine Leitung durch den Hudson. Der Draht war mit Baumwolle umwickelt, mit Kautschuk isolirt und durch eine Bleihülle geschützt. Es waren zwei Taue im Betriebe, welche durch mehrere Monate gute Dienste leisteten, bis 1846 deren Zerstörung durch Eis erfolgte.

Im Juli 1846 stellte Hay im Hafen zu Portsmouth, am Bord der Schiffe Pique und Blake, zwischen den Schiffen und dem Lande Versuche mit einem isolirten Draht an, und zu Ende November 1846 wurde in dem nämlichen Hafen eine unterseeische Leitung von Watering-Island im Dock-Yard bis zur Landungstreppe bei Royal-Clarence-Yard auf der Insel Wight gelegt.*)

1847 errichtete S. T. Armstrong in Brooklyn eine Guttaperchamanufactur und stellte 1848 einen Versuch mit einem durch den Hudson gelegten Guttaperchadraht an, der so günstig ausfiel, dass Armstrong im nämlichen Jahre im New-York-Journal of Commerce den Vorschlag machte, ein Telegraphentau mittelst Guttapercha zu isoliren und durch den atlantischen Ocean zu legen. Die Kosten schätzte Armstrong auf $3^1/_2$ Millionen Dollars.

In diese Zeit fallen auch die ersten Versuche von Siemens, deren wir schon an anderer Stelle (S. 7) gedachten.

Am 10. Jänner 1849 telegraphirte C. V. Walker, Dirigent der englischen Südwest-Eisenbahn, im Hafen zu Folkestone bei Dover auf einem 2 Meilen langen versenkten Kabel ohne jede Schwierigkeit.

*) Vergl. einen Aufsatz von Zetzsche in Schlömilch's Zeitschrift für Mathematik und Physik. 1867, S. 399.

Durch diese Versuche ermuthigt, beschloss J. Brett, ein Mann von grossem Unternehmungsgeiste mit umfassender technischer Bildung, Dover mit Calais unterseeisch zu verbinden, und es gelang ihm, für dieses Unternehmen von der französischen Regierung eine ausschliessliche Concession auf zehn Jahre zu erhalten. Es bildete sich nun zur Ausbeutung der Concession die Société Carmichael & Co. in Paris, mit Jacob Brett an der Spitze.

Dieselbe liess das Kabel herstellen, dessen Legung zwischen Dover und dem Cap Gris Nez am 28. August 1850 durch den Raddampfer Goliath in zehn Stunden glücklich zu Ende geführt wurde.

Man bediente sich zweier verschiedener Kabelsorten. Das eigentliche Seekabel enthielt einen 1·8 mm dicken Kupferdraht, welcher derart mit Guttapercha überzogen war, dass die Gesammtdicke 12·5 mm betrug. Die unmittelbar am Ufer liegenden Stücke waren mit dicken Bleihüllen versehen. Der Draht wurde von einer am Schiffe befindlichen Trommel abgewickelt und ohne Schwierigkeit bis auf 55 m Tiefe versenkt. Um die Leitung sicher am Meeresgrunde festzuhalten, wurden in je 100 m Entfernung 8 bis 10 kg schwere Gewichte angehängt. Man benützte Bleiplattenpaare, welche die an der betreffenden Stelle etwas verdickte Guttaperchahülle zwischen sich festhielten.

Sofort nach der Verlegung versuchte man zu telegraphiren, was auch vollständig gelang. Doch schon am nächsten Tage war die Verbindung unterbrochen, weil sich der Guttaperchaüberzug an den Felsenufern der französischen Küste abgescheuert hatte. In Folge dieses,

wenigstens in einer Hinsicht vollkommen gelungenen Versuches verlegte die Submarine Telegraph Co. am 25. September 1851 zwischen Cap Southerland nächst Dover und Cap Sangatte bei Calais ein etwa 40 km langes Kabel, dessen Guttaperchahülle durch eine Eisenarmatur beschwert und geschützt war. Das Gewicht des Kabels betrug 4·42 Kilo per laufenden Meter. Es enthielt vier mit Guttapercha isolirte Kupferdrähte und zehn Eisenschutzdrähte von $7^1/_2$ mm Durchmesser. Das ganze Tau wurde auf dem Kriegsdampfer »Blazer« verladen, von welchem man, um Platz für das Tau zu schaffen, die Maschine entfernt hatte und den man durch ein anderes Schiff schleppen liess.

Unter der Leitung Crampton's und Wollaston's wurde das Kabel, ohne besondere Bremsvorrichtungen anzuwenden, abgerollt und verlegt. Allerdings betrug die Meerestiefe nirgends über 75 m. Das Kabel war bis 1875 betriebsfähig und man fand bei den Ausbesserungsarbeiten die Guttapercha tadellos erhalten, während allerdings das Eisen der Schutzhülle an manchen Stellen stark angerostet war.

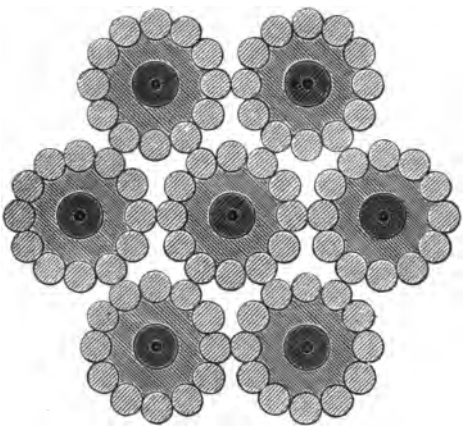
1852 erfolgten die ersten Versuche, England mit Irland telegraphisch zu verbinden. Ein 115 km langes, 13 mm starkes Kabel von Newall in Gateshead wurde zwischen Holyhead und Howth durch den St. George-Canal gezogen. Die Seele war ein Kupferdraht von 1·7 mm Dicke, der mit Guttapercha, Hanf und 2·7 mm dicken Eisendrähten umgeben wurde. Das Kabel war jedoch nur drei Tage in Thätigkeit und versagte dann. Ebensowenig gelang es mit einem zweiten, noch im nämlichen Jahre zwischen Portpatrik und Donaghadee verlegten

Kabel von 24 km Länge, eine telegraphische Correspondenz zu ermöglichen.

Erst im darauffolgenden Jahre kamen die beiden Linien glücklich zu Stande.

In eigenthümlicher Weise wurde die Verbindung zwischen England und Holland durch die »Electric and International Telegraph Company« hergestellt. Von der

Fig. 14.



Ansicht ausgehend, dass es bei längeren Leitungen unzweckmässig sei, mehrere Litzen in einer gemeinsamen Schutzhülle zu bergen, versenkte man sieben Kabel, die in entsprechenden Entfernungen am Meeresgrunde lagen und erst in der Nähe des Ufers sich vereinigten. Es war so die Möglichkeit ausgeschlossen, dass die Beschädigung durch einen Schiffsanker gleichzeitig sämmtliche Adern treffe. Fig. 14 zeigt die Anordnung der am Ufer vereinigten Kabel.

Von Mai bis September 1853 wurden zwischen Oxfordness und Scheveningen je vier Kabel von etwa 190 km Länge gelegt. Nachdem dieselben jedoch den gehegten Erwartungen nicht entsprachen, legte die »Submarine Company« ein Doppelkabel von Glass, Elliot & Co. und die »Electric Company« im nämlichen Jahre ein vieraderiges, das aus der nämlichen Fabrik hervorgegangen war. Es wurde im September zwischen Dunwich und Zandvoort versenkt und dabei die Vorzüglichkeit der abwechselnden Isolirung mit Guttapercha und Chatterton Compound das erste Mal erprobt.

1853 legten Siemens und Halske ein dreiaderiges Kabel von Petersburg nach Kronstadt. Die Eisenschutzdrähte waren mit einem Pech- und Theerüberzug versehen, um das Rosten zu verhindern. Das Kabel stammte aus der Fabrik von Newall & Co.

Die nämliche Firma lieferte im Jahre 1855 das während des Krimkrieges zwischen Varna und Balaklava versenkte Kabel. Die Länge der Linie betrug 480 km, wovon 56 km als Uferkabel mit einer Eisenschutzhülle versehen waren, während der übrige Theil, ein 1·7 mm dicker Kupferdraht mit einer Guttaperchaumhüllung von 8 mm Durchmesser, ohne jeden Schutz ins Meer versenkt wurde. Das kühne Experiment gelang vollständig, denn die Leitung war durch sechs Monate ununterbrochen betriebsfähig. Varley berichtet, dass mit einer Sprechgeschwindigkeit von fünf Worten per Minute telegraphirt wurde.

Ein weit widerstandskräftigeres Kabel wurde im October 1855 von Newall zwischen Varna und Constantinopel verlegt. Die Länge der Linie betrug 278 km.

Die Construction des Kabels unterschied sich von jener des zwischen Varna und Balaklava verlegten dadurch, dass man eine weniger dicke Guttaperchaumhüllung (7 mm Durchmesser) und 12 Eisenschutzdrähte angewendet hatte.

Die Sprechgeschwindigkeit betrug im Maximum acht Worte per Minute.

### 2. Kabellegung bei grosser Meerestiefe.

Bei den bisher beschriebenen Kabellegungen hatte man es mit verhältnissmässig geringen Meerestiefen zu thun, wobei die im Kabel beim Abrollen entstehenden Spannungen unwesentlich waren.

Ganz andere technische Verhältnisse treten ein, wenn es sich darum handelt, Kabel in gewaltige Meerestiefen von vielen tausend Metern zu versenken.

Die Gelegenheit, diesbezügliche Erfahrungen zu machen, ergab sich beim Verlegen der Kabel im mittelländischen Meere.

Die französische Regierung, welche sich die Aufgabe gestellt hatte, eine directe Verbindung nach Corsica und Algier herzustellen, liess 1854 bei Glass, Elliot & Co. ein sechsdrahtiges Kabel anfertigen, das durch 12, je 7·6 mm starke Eisendrähte geschützt war. Mit diesem wurde eine 177 km lange Verbindung zwischen dem Festlande (Spezzia) und Corsica hergestellt. Ein gleichartiges Kabelstück von 18 km Länge wurde zwischen Corsica und Sardinien versenkt. 1855 machte J. Brett den Versuch, ein Kabel gleicher Construction von Sardinien bis an die afrikanische Küste zu führen,

wobei die gewaltige Meerestiefe von 3000 m zu passiren war.

Die Versenkung begann am 25. September und verlief anfangs ganz normal; am nächsten Tage lief jedoch das Seil, nachdem eine Meerestiefe von 1640 m erreicht worden war, zu rasch ab und bildete viele Schlingen. Man begann nun das Seil wieder aufzuwinden, doch ging diese mühselige Arbeit nur sehr langsam von statten, und nach einigen Tagen riss das Seil. Es wurde zwar noch versucht, den Rest des Seiles vom Cap Spartivento nach der Insel Galita zu legen, aber auch dies misslang.

Im Jahre 1856 versuchte Brett auf der nämlichen Linie ein Telegraphentau mit drei Adern und zehn Schutzdrähten zu versenken. Dasselbe wog nur fünf Tonnen per Meile, während das Gewicht des früheren zwölf Tonnen betragen hatte. Es gelang, die bedeutende Tiefe von 2000 m glücklich zu überschreiten; doch wenige Meilen von Galita entfernt, wurde das Tau am 19. August durch eine scharfe Felskante abgeschnitten.

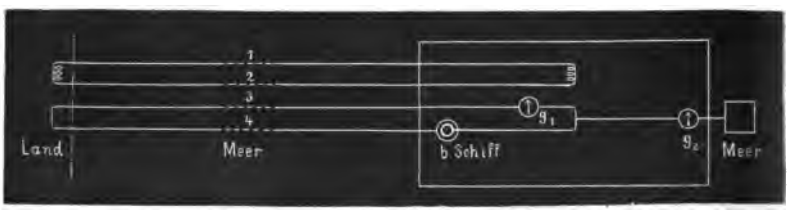
Nun übernahm die rühmlich bekannte Firma Newall & Co. die Herstellung des Kabels für die Mediterranean Extension Company, an deren Spitze J. Brett stand.

Das von ihr gelieferte, für die Verbindung Bona-Cagliari bestimmte Kabel unterschied sich von dem früher verwendeten vortheilhaft dadurch, dass man an Stelle des einfachen Kupferdrahtes vierdrahtige Kupferlitzen verwendete, wodurch die Gebrechlichkeit bei gleichem Materialaufwande bedeutend verringert wurde. Die absolute Festigkeit des Taues betrug acht Tonnen. Das Kabel war am Bord der »Elba« verladen, welche am

5. September 1857 in Bona (Algier) eintraf. Von da aus begann am 7. September die Verlegung.*)

Nach Angabe Werner Siemens', welcher der Legung beiwohnte, wurde an der »Elba« ein kräftiger Bremsapparat angebracht, um dem gewaltigen Zuge des mehrere tausend Meter tief herabhängenden Kabels einen entsprechenden Widerstand entgegenzusetzen. Ausserdem wurde ein Dynamometer verwendet, um die auftretenden Spannungen ihrer absoluten Grösse nach zu bestimmen. Das Kabel enthielt vier von einander isolirte

Fig. 15.




Litzen, an denen während der Fahrt fortwährend Proben über die Leitungs- und Isolationsfähigkeit gemacht wurden; auf Leitung 1 und 2 (Fig. 15) wurde die telegraphische Correspondenz mit der Station am Ufer unterhalten. 3 und 4 waren zu einem Stromkreis vereinigt, in welchem sich die Batterie $b$ und das Galvanometer $g_1$ befanden. Ausserdem war dieser Stromkreis noch an einer Stelle zum Meere abgeleitet. Das Galvanoskop $g_1$ musste einen constanten, $g_2$ gar keinen oder wenigstens

*) Ausführliches hierüber findet man in Delamarche, Elemente der unterseeischen Telegraphie. Deutsch von Viechelmann. Berlin, Springer, 1859.

nur einen höchst schwachen Strom (Isolationsstrom) anzeigen. (Fig. 15.)

Da die Maschine der »Elba« allein nicht die genügende Kraft besass, um die Spannung des Kabels zu überwinden, wurde ein zweiter Dampfer, der »Blazer«, vorgespannt.

Man hatte für die, in horizontaler Richtung 200 km messende Strecke 260 km Kabel am Bord, darunter 26 km Küstenkabel, doch erwies sich auch diese Länge nicht ausreichend. Es gelang zwar, die gefürchteten Tiefen, genannt »Mr. Brett's precipices«, glücklich zu überschreiten, doch wurde so viel an Leitungsmaterial verbraucht, dass der Kabelvorrath 15 km vom Cap Spartivento zu Ende ging.

Ende October wurde das Kabelende wieder aufgenommen und das fehlende Stück angespleisst. Nach Beseitigung einiger Isolationsfehler im Kabel waren sämmtliche vier Leitungen bis zum Jahre 1860 betriebsfähig. Nachdem die erste Querverbindung über das Mittelmeer glücklich vollendet war, begann die Mediterranean Extension Telegraph Company noch im November 1857 die Legung eines einaderigen Anschlusskabels, welches vom Cap St. Elia östlich Cagliari nach Malta und Corfu führte. Die Länge betrug über 1200 km, und schon im December 1857 war das Kabel betriebsfähig.

### 3. Das atlantische Kabel.

Während in Europa die grossen Inseln dieses Welttheiles der Reihe nach ihre Kabelverbindungen mit dem Festlande erhielten, beschäftigten sich die unternehmungs-

lustigen Amerikaner unausgesetzt mit dem grossen Probleme einer unterseeischen Verbindung der alten und neuen Welt.

Dem Amerikaner Cyrus Field war es vergönnt, das schon von Morse geplante grosse Werk mit energischer Hand zu beginnen und nach mehreren fehlgeschlagenen Versuchen glücklich zu Ende zu führen.

Am 10. März 1854 gründete Cyrus Field im Vereine mit seinem Bruder Dudley und vier anderen Genossen eine Gesellschaft, welche auf 50 Jahre das Recht erwarb, ein Kabel auf Neufundland landen zu dürfen. Die vorerst zu beantwortenden Hauptfragen waren: 1. Ob es überhaupt möglich sei, auf so enorme Distanzen zu telegraphiren; 2. welche Beschaffenheit der zu überschreitende Meeresgrund besitze.

Professor Morse, dessen Autorität man in erster Linie zu Rathe zog, beantwortete die erste Frage in bejahendem Sinne. Die zweite wurde dem um die Meerestiefemessungen so hochverdienten Seelieutenant Maury vorgelegt, der dem Unternehmen ebenfalls ein günstiges Prognostikon stellte. Auf Field's Anregung wurden hierauf im Sommer 1856 durch Lieutenant Berryman mit dem amerikanischen Schiffe »Arctic« zwischen Irland und Neufundland zahlreiche Sondirungen durchgeführt, welche eine Maximaltiefe von 4400 m ergaben. Die mittlere Meerestiefe betrug 3500 m und zeigten sich keinerlei, die sichere Lagerung des Kabels gefährdende plötzliche Vertiefungen und Klippen, wie dieselben z. B. im mittelländischen Meere gefunden worden waren.

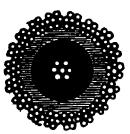
Nach einigen missglückten Versuchen gelang es Field im Juli 1856, mit einem von Küper & Co. in

England gefertigten Kabel, das von Canning durch die Meerenge des St. Lorenzbusens geführt wurde, Nova Scotia mit Neufundland zu verbinden.

Nun begab sich Field nach England und gründete dort anfangs November, nachdem die englische Regierung ihm wesentliche Concessionen zugestanden hatte, im Vereine mit Altmeister Brett und Consorten die Atlantic Telegraph Company.

Um überhaupt den experimentellen Nachweis zu liefern, dass auf die enorme Distanz quer über den Ocean gesprochen werden könne, bediente man sich des

Fig. 17. Fig. 16.



unterirdischen Netzes der Magnetic Company, welche durch Combination mehrerer Linien in der That die Länge von 3200 km hergestellt hatte, auf welcher der Versuch, zu telegraphiren, vollständig gelang. Unter der Leitung von A. Glass und S. Canning wurden nun an einer Reihe von Kabeln Zerreissungsversuche angestellt, um ein Kabel von möglichst grosser Festigkeit und zugleich von geringem absolutem und specifischem Gewichte zu erhalten. Schliesslich entschied man sich für das in Fig. 16 und 17 in natürlicher Grösse dargestellte Kabel. Die Kupferdrähte waren je 0·76 mm stark und mit drei Lagen Guttapercha umpresst. Als Schutzhülle diente eine theergetränkte Juteumspinnung,

über welche 18 siebendrähtige Eisendrahtlitzen gewunden waren.*) Der Durchmesser des Kabels betrug 16 mm, sein Gewicht 632 kg per Kilometer, der Auftrieb im Meerwasser 265 kg per Kilometer. Es riss erst bei einer Belastung von 3300 kg; dieser Zug entspricht dem Gewichte eines im Wasser versenkten Kabelstückes von 9 km Länge.

Das Uferkabel war mit zwölf je 7·5 mm dicken Eisendrähten geschützt.

Die Kabelader sammt Guttaperchahülle wurde von der Guttapercha-Company in London geliefert. In die Arbeit des Umspinnens hingegen theilten sich zwei Fabriken. Als man nun die beiden Lieferungen verglich, zeigte die eine Drahthülle eine rechts gewundene, die andere eine links gewundene Schraube, und man hegte die Befürchtung, die Seile würden sich nach der Vereinigung der Enden aufdrehen. Man beabsichtigte zuerst, die Legung von der Mitte zu beginnen und gegen die beiderseitigen Ufer fortzuschreiten, liess jedoch 14 Tage vor der Abfahrt diesen Gedanken fallen und begann die Legung von Irland aus.

Die Entfernung der beiden Endpunkte betrug, in der Luftlinie gemessen, 2640 km. Man schätzte die Länge der Route auf 3000 km, liess jedoch im Ganzen 4000 km Kabel anfertigen.

Whitehouse führte die Kabelprüfungen durch, jedoch nur an der Guttaperchaader, bevor noch die Eisenumspinnung angebracht war, da man sich scheute, die schützenden Eisendrähte vor ihrer definitiven Versenkung

*) In ähnlicher Art pflegt man die Torpedokabel mit Stahldrähten zu umgeben, zieht jedoch bei denselben Kautschukisolirung vor.

zu benetzen und so zur Rostbildung und Schwächung derselben Veranlassung zu geben.

Zur Verlegung der Kabel dienten zwei Schiffe, das englische »Agamemnon« und das amerikanische »Niagara«. In dem ersteren war das Kabel in einem einzigen Ringe von 4 m Höhe und 14 m Durchmesser aufgestapelt. Im letzteren lag es in fünf getrennten Ringen von je 12 m Durchmesser.

Am 7. August 1857 begann die Legung von Valentia aus. Der Zeitpunkt war vortrefflich gewählt, da nach Maury's Erfahrungen im Monate August selten stürmisches Wetter an jenen Stellen des Atlantischen Oceans beobachtet wurde, die bei der Legung passirt werden mussten, und ausserdem von schwimmenden Eisbergen nichts mehr zu befürchten war.

Jedem der beiden Kabelschiffe war ein Begleitungsschiff beigegeben. Ausserdem wurde noch ein fünfter Dampfer, der »Cyklop«, vorausgeschickt, um den nachfolgenden den Cours anzugeben. Man wagte nämlich nicht, sich auf die Compasse der Kabelschiffe zu verlassen, da dieselben durch die beweglichen Eisenmassen der nach und nach ablaufenden Kabel in unberechenbarer Weise beeinflusst wurden.

Nach drei Tagen waren im Ganzen 610 km Kabel glücklich ausgelegt, wobei die Schiffe einen Weg von 520 km zurückgelegt hatten; aber schon am nächsten Tage (11. August 1857) riss das Kabel bei einer Meerestiefe von 3660 m ab. Da der noch vorhandene Kabelvorrath nicht ausreichte, die Legung noch einmal von Irland aus zu beginnen, und da man nicht über die zum Aufholen eines Kabels nöthigen technischen Vorrichtungen

verfügte, blieb nichts Anderes übrig, als nach England zurückzukehren.

Zuvor wurden jedoch noch mehrere Versuche gemacht, ein ausgelegtes Kabel, welches in einer Länge von beiläufig 900 m am Grunde schleppte, zu zerreissen, was jedoch durch keines der darauf hinzielenden Manöver des Schiffes erreicht werden konnte.

Ausserdem versuchte man, die Enden der auf beiden Schiffen befindlichen Kabel zu spleissen und gleichzeitig nach zwei entgegengesetzten Richtungen auszulegen. Das Kabel erreichte in der That unversehrt den Meeresgrund, doch, nachdem die Verlegung einige Zeit ungestört von statten gegangen war, zerriss das Kabel am Bord des »Agamemnon«.

Schon im Frühling des folgenden Jahres wurde eine zweite Expedition mit den nämlichen Schiffen unternommen. Es wurde eine beträchtliche Menge neuen Kabels angefertigt, so dass mit Einschluss der in geringer Meerestiefe aufgeholten Stücke 4470 km Kabel disponibel waren, und man entschloss sich, die Legung von der Mitte des Atlantischen Oceans zu beginnen.

Am 10. Juni 1858 verliess das Geschwader Plymouth und steuerte auf den in $52^0\ 2'$ nördlicher Breite und $33^0\ 18'$ westlicher Länge bestimmten Rendezvousplatz, der auch nach Ueberwindung heftiger Stürme am 25. Juni erreicht wurde. Nach einigen missglückten Versuchen gelang es, die Kabel zu spleissen, und nun entfernten sich die Schiffe von einander.

Nachdem 149 km glücklich ausgelegt waren, zeigte sich ein Fehler in der Leitung, und bei einem Versuche, das Kabel wieder aufzuholen, zerriss dasselbe.

Am 28. Juni war eine neue Spleissung vorgenommen worden und die Operation begann von Neuem. Es gelang, 476 km Kabel glücklich zu versenken. Doch wieder zeigte sich eine Unterbrechung der Leitungsfähigkeit, und als der »Agamemnon« seine Fahrgeschwindigkeit verminderte, riss plötzlich das Kabel, obwohl das Dynamometer anzeigte, dass seine absolute Festigkeit nur zum dritten Theile in Anspruch genommen sei.

Alle Versuche, die Leitung wieder herzustellen, waren vergeblich, und so blieb denn nichts Anderes übrig, als unverrichteter Sache nach Hause zu fahren.

Trotz der missglückten Versuche liessen die Unternehmer den Muth nicht sinken; um so weniger, als die Festigkeitsproben, welchen das Kabel unterzogen worden war, und die gelungenen Versuche, zwischen den Legungsschiffen zu telegraphiren, eine günstige Beendigung des gewaltigen Unternehmens erhoffen liessen.

Schon am 17. Juli steuerte die kleine Flottille von Queenstown wieder gegen die Mitte des Atlantischen Oceans und erreichte dieselbe am 28. Juli. Am 29. Juli waren die Kabel gespleisst und die Schiffe entfernten sich von einander.*)

Auch diesmal waren Schwierigkeiten und Unfälle mannigfaltigster Art zu überwinden. Schon am ersten Tage schwamm ein mächtiger Walfisch gerade auf das Kabel des »Agamemnon« zu. Glücklicherweise streifte er dasselbe blos, ohne irgend welchen Schaden zu verursachen.

*) Die nun folgende Beschreibung ist zum Theile dem interessanten Werkchen Schellen's: »Das Atlantische Kabel« entnommen.

Um acht Uhr entdeckte man mit Entsetzen einen Fehler im Kabel, an einer Stelle, die in zwanzig Minuten über Bord gehen sollte. Da man das Kabel, ohne es der Gefahr des Zerreissens auszusetzen, nicht anhalten durfte, beeilte man sich, die fehlerhafte Stelle auszubessern; allein, als man mit dieser Operation eben fertig geworden war, meldete der Elektriker, Prof. Thomson, dass die Leitung des Kabels vollständig unterbrochen, die Isolation hingegen noch in gutem Zustande sei. Natürlich kam man auf die Vermuthung, dass das fehlerhafte Stück den Strom unterbrochen habe, und schnitt es heraus; jetzt aber zeigte das Galvanometer, dass der Fehler 90 km vom Schiffe entfernt sei, während das auszubessernde Stück in wenigen Minuten über Bord laufen musste. Man hielt das Schiff an und bremste das Kabel so stark als möglich. Das ganze Schiffspersonal war in Aufregung, denn ungeachtet aller Anstrengungen konnte man in so kurzer Zeit keine vollkommene Löthstelle anfertigen; es blieb endlich nichts übrig, als das Kabel ganz anzuhalten und die Löthstelle zu vollenden. Glücklicherweise erfolgte kein Bruch des Kabels, das man dann nach vollendeter Spleissung wieder ablaufen liess. Leider wollte noch immer kein Strom sich zeigen und schon dachte man daran, die ganze Operation verloren zu geben und das Kabel zu kappen, als plötzlich das Galvanometer wieder einen Ausschlag gab und die Signale des »Niagara« bestimmt erkannt werden konnten.

Nach einer Fahrt von $7^1/_2$ Tagen, am 4. August um Mitternacht, kamen dem »Agamemnon« die Leuchtfeuer der irischen Küste in Sicht und am 5. Morgens

wurde das Uferende unter dem Donner der Geschütze glücklich ans Land gebracht.

Noch an demselben Tage telegraphirte der »Niagara«, dass auch er in der Trinity-Bay auf Neufundland angekommen, und das Kabelende in das dort errichtete Kabelhaus eingeführt sei. Die Gesammtlänge des Kabels betrug 3745 km, und wurden per Tag im Mittel 557 km versenkt.

So war denn das grosse Werk nach vielen vergeblichen Versuchen rühmlich zu Ende geführt. Am 7. August brachte die »Times« Field's erstes Telegramm aus Amerika und drei Tage später begann die regelmässige Beförderung der Depeschen.

Leider verschlechterte sich die Isolation des Kabels von Tag zu Tag. Nachdem die beiden Depeschen der Königin Victoria von England an den Präsidenten der Vereinigten Staaten, James Buchanan, und von diesem an die Königin ausgewechselt worden waren, und sonst noch 2885 Worte mit 13986 Buchstaben das Kabel passirt hatten, versagte dasselbe am 1. September, nachdem noch zuletzt das verheissungsvolle Wort »Forward« telegraphirt worden war. Alle Versuche, das Kabel wieder brauchbar zu machen, blieben vergebens; man konnte blos erfahren, dass sich der Fehler ungefähr 300 Meilen von Valentia befand, und dass die Continuität des kupfernen Leiters nicht vollständig unterbrochen sei. Einige wenige Worte konnten noch am 20. October mit Hilfe des sehr empfindlichen Thomson'schen Spiegel-Galvanometers gegeben werden. Dann schwieg das Kabel für immer. Nichtsdestoweniger wurde einige Tage später in New-York ein glänzendes Fest zu Ehren Field's

gefeiert, bei welchem der kühne Unternehmer in bescheidener Erwiderung einer an ihn gerichteten Ansprache vor Allem die Verdienste der Gelehrten Maury, Morse, Faraday und William Thomson hervorhob und auch den Seemännern und Ingenieuren, welche an dem grossen Werke mitgearbeitet hatten, den gebührenden Dank zollte.

Allerdings fehlte es nicht an Anfeindungen aller Art und es erhoben sich sogar Stimmen, welche die Unternehmer direct des Betruges zeihten und behaupteten: Das Kabel sei, obwohl man sich schon früher von dessen Unbrauchbarkeit überzeugt hätte, nur gelegt worden, um dasselbe überhaupt aus der Welt zu schaffen und für ein neues gewinnbringendes Unternehmen Veranlassung zu finden; auch seien sämmtliche Depeschen fingirt.

Wenn auch die letztere Behauptung als tendenziöse Entstellung zurückgewiesen und gebrandmarkt werden konnte, durfte man sich doch nicht verhehlen, dass das Kabel in der That vor seiner Verlegung nicht mit jener Sorgfalt geprüft und aufbewahrt worden war, welche man bei einem so kostspieligen und gewagten Unternehmen unbedingt fordern musste. Die Festigkeit des Kabels liess nichts zu wünschen übrig, wohl aber seine Isolation, die durch längeres Liegen an der Luft zum Theil verdorben worden war. Auch hatte man in der Herstellung der Löthstellen nicht die genügende Erfahrung und so kam es, dass durch diese, sowie durch viele feine Risse in der Guttaperchahülle Nebenleitungen entstanden, durch welche der elektrische Strom zum grössten Theile ins Wasser verloren ging. Als Elektricitätsquelle diente eine Erdbatterie mit 240 Plattenpaaren aus Zink und Kupfer, deren hohe elektrische

Spannung ebenfalls schädigend auf die Isolation einwirkte. Heutzutage arbeitet man behufs Schonung und Erhaltung der Isolirschicht mit ausserordentlich schwachen Strömen.*)

In der sicheren Erwartung, durch die gewonnenen Erfahrungen bei einer neuen Kabellegung dauernde Erfolge zu erzielen, stellten die Directoren der Kabelunternehmung an das Ministerium Derby das Ansuchen um eine neue Concession und die Garantieleistung für ein Actiencapital von 600.000 Pfund. Der Antrag stützte sich vor Allem auf die Thatsache, dass das Kabel der englischen Regierung schon einen wesentlichen Dienst geleistet hatte. Während des indischen Aufstandes hatte sich nämlich England genöthigt gesehen, Truppen aus Canada zurückzurufen. Kurz nachdem dieser Befehl gegeben war, gestalteten sich aber die indischen Angelegenheiten günstiger, so dass die Einschiffung unterbleiben konnte. Damit die Contre-Ordre rechtzeitig eintreffe, wurde auf dem noch wirksamen Kabel eine diesbezügliche Depesche abgesendet, wodurch der englischen Regierung über 40.000 Pfund an Transportkosten erspart blieben. Trotzdem gelang es der Gesellschaft nur, eine Garantie von acht Percent der geforderten Summe zu erhalten, und zwar auf 25 Jahre, unter der Bedingung, dass während dieser Zeit das Kabel gelegt sein müsse. Anfangs zeigte sich das Publicum gegen das neue Unternehmen sehr kalt und theilnahmslos, und im Jahre 1860 waren erst 72.000 Pfund Sterling und diese hauptsächlich durch die Beamten der Compagnie gezeichnet. Erst im Jahre 1864 erreichte die gezeichnete Summe den

*) Ein Milliontel Ampère bei 25 Worten per Minute.

Betrag von 285.000 Pfund, so dass die Gesellschaft beschliessen konnte, die Vorbereitungen zur Anfertigung eines neuen Kabels zu treffen. — Während so das Unternehmen in finanzieller Hinsicht gedieh, war man eifrig bemüht, auch alle einschlägigen technischen Fragen gründlich zu studiren, eine Aufgabe, mit welcher sich eine wissenschaftliche Commission zu befassen hatte, welcher die bedeutendsten Elektriker Englands, sowie auch verdienstvolle Physiker des Auslandes angehörten. Wir nennen nur folgende Namen: C. Wheatstone, W. Fairbairn, C. E. Varley, J. Chatterton, Hughes, F. Jenkin, Preece, C. W. Siemens u. Willoughby Smith.

Fig. 18.

Die Commission, welche ihre Sitzungen im December 1859 begann und bis zum 4. September 1860 fortsetzte,

zog eine grosse Anzahl von Gelehrten und Technikern zu Rathe, man kann wohl sagen, alle, welche in irgend einer, die Kabeltelegraphie betreffenden Frage Erfahrungen gemacht haben konnten. Es fanden mündliche Besprechungen statt, wobei gegen 5000 Aussagen zu Protokoll gegeben wurden. Ausserdem empfing die Commission zahlreiche werthvolle Elaborate und stellte schliesslich in einem umfangreichen Berichte das ganze gewonnene Material zusammen. Die Commission hob hervor: »dass sie die Ueberzeugung erlangt hätte, dass, wenn bei der Construction, Herstellung und Verlegung der Seekabel die Grundsätze gehörig gewürdigt würden, welche in diesem Berichte dargelegt seien, diese Unternehmung sich eben so erfolgreich zeigen würde, wie sie bis jetzt unglücklich gewesen sei, und dass man Misserfolge hätte verhindern können, wenn entsprechende Untersuchungen gemacht worden wären.«*) Nun erfolgte eine öffentliche Ausschreibung für die Einreichung von Probekabeln. Von den eingelaufenen Stücken wurden 120 durch die Commission sorgfältig untersucht und schliesslich ein von der Firma Glass, Elliot & Comp. überreichtes Stück als in jeder Hinsicht am besten geeignet befunden.

Die genannte Firma begann nun die Herstellung des neuen Kabels von 4266 km Länge, welches am 10. Juni 1865 vollendet werden musste. Die Kosten beliefen sich auf 700.000 Pfund.

*) Report of the Joint Committee appointed by the Lords of the Committee of Privy Council for Trade and the Atlantic Telegraph Company to inquire into the Construction of Submarine Cables. London 1861. Blaubuch der englischen Regierung.

Fig. 18 zeigt die Anordnung der Schutz- und Isolirhülle des Kabels. Die Kupferdrähte waren 1·2 mm dick und mit Chatterton-Compound und vier Guttaperchalagen umgeben, so dass der äussere Durchmesser der Isolirhülle 12 mm betrug. Die Ader wurde in getheertes Jutegarn gehüllt und mit zehn 2·5 mm dicken

Fig. 19.

eisernen Schutzdrähten umsponnen, von denen jeder mit Manilahanf überzogen war. Die einzelnen Schutzdrähte besassen bis zu 500 kg absolute Festigkeit. In der Nähe des Ufers wurde das Kabel noch mit einer zweiten Hanfhülle umgeben, welche durch zwölf dreidrähtige Litzen aus 6 mm dicken Eisendrähten geschützt war (Fig. 19). Der Durchmesser des Uferkabels betrug 62 mm, das Gewicht pro laufenden Kilometer 11 Tonnen. Das See-

kabel zerriss erst bei einer Belastung von 7875 kg. Ein Kilometer wog in der Luft 982 kg, im Wasser 384 kg. Das Gewicht der Guttapercha betrug 98 kg, jenes des Kupfers 73·5 kg für einen Kilometer. Vertragsmässig musste das Kabel einen Zug aushalten, der durch ein frei im Meerwasser hängendes Stück von 20 km Länge ausgeübt wird.*) Der Leitungswiderstand nach der Legung betrug nach Clark und Sabine 2·23 Siemens-Einheiten, der Widerstand der Isolationshülle 5445 Millionen Siemens-Einheiten für einen Kilometer. Die Ladungscapacität war gleich 0·19 Mikrofarad per Kilometer. (Vergl. III. Abschn., 1. Cap.) Versuche, welche vor der Legung mit einem 2500 km langen Kabelstücke gemacht wurden, ergaben eine Sprechgeschwindigkeit von vier bis sechs Worten in der Minute und es durfte für das geradlinig ausgelegte Kabel, in welchem nicht die störenden Extraströme, welche im gerollten Kabel auftraten, zu erwarten waren, ein noch erheblich günstigeres Resultat angehofft werden. Zur Legung wurde das Kabel auf das Riesenschiff »Great Eastern« gebracht. Dasselbe hatte eine Ladefähigkeit von über 20.000 Tonnen, 211 m Länge, 25 m Breite und 18 m Höhe. Der Tiefgang betrug in unbeladenem Zustande 10, in beladenem 11 m. Zur Unterbringung des Kabels dienten drei grosse, 6 m tiefe eiserne Behälter, von denen der eine 16, die beiden anderen 18 m Durchmesser hatten. Das Kabel selbst wog, mit Ausnahme des 55 km langen Uferseiles, welches auf dem Schiffe »Caroline« verladen wurde, 4000 Tonnen; die Kohle, welche das Schiff mitnahm, 8500 Tonnen.

*) Zetzsche, Handbuch der Telegraphie. III. Bd., S. 249.

Die Bemannung bestand aus 500 Leuten, darunter waren 120 Elektriker und Ingenieure, 179 Heizer und Maschinisten und 115 Seeleute. Zur Bewegung des Schiffes dienten zwei Schaufelräder von 19 m Durchmesser und eine Schiffsschraube von 6 m Durchmesser. Die Rad-Dampfmaschine hatte 1000, die Schraubenmaschine 1600 Pferdekräfte. Zum Betriebe dieser Maschinen waren 10 Dampfkessel mit fünf Schornsteinen und 112 Feuerungen nöthig.

Die Dampfmaschine für die Schaufelräder bestand aus vier oscillirenden Cylindern von 6 m Länge und 2 m Durchmesser. Ausser den eigentlichen Betriebsmaschinen waren noch sechs andere Dampfmaschinen zur Bedienung der Winden und Pumpen vorhanden. Eine eigene Gasanstalt sorgte für Beleuchtung, ein ausgebreitetes Telegraphennetz für die rasche Beförderung der Befehle des Capitäns.

Alle, auf die Legung des Kabels bezüglichen Anordnungen gingen von Canning, dem ersten Ingenieur der Telegraph Construction and Maintainance Company aus, während die Elektriker unter der Leitung von de Sauty, Varley und Thomson nach einem sorgfältig ausgearbeiteten Plane in bestimmten, nach genau verglichenen Chronometern bemessenen Zeiträumen mit der Landstation Signale auswechselten.

Als Sprechapparat diente Thomson's Spiegel-Galvanometer, als Elektricitätsquelle eine Batterie von 40 Daniell-Elementen. In weniger als einer Minute konnte eine Widerstands- und eine Fehlerbestimmung gemacht werden. Nebst den Auslegemaschinen, welche wir später im Zusammenhange mit anderen beschreiben werden,

war auch eine Aufwindemaschine stets bereit, sofort nach Auffindung eines Fehlers das Kabel wieder aufs Schiff zurückzubringen.

So war denn Alles, was Mechanik, Physik und seemännische Technik bieten konnte, vereinigt, um das gewaltige Werk zu Stande zu bringen, und keine Massregel verabsäumt, welche sich zur Verhütung von Unglücksfällen nothwendig erwies. Mit Recht konnte die »Times« in ihrer Nummer vom 25. Juni 1865 die Behauptung aufstellen, dass nach menschlichem Ermessen das Gelingen oder Misslingen des Unternehmens einzig und allein vom Wetter abhängig sei.

Als Kabeltrace wurde ähnlich wie bei Verlegung des Kabels vom Jahre 1857 ein nach Norden convexer flacher Kreisbogen zwischen Neufundland und Irland gewählt. Die Küstenpunkte waren mit besonderer Sorgfalt ausgesucht worden; während das Kabel von 1858 in Neufundland am äussersten Ende der Trinity-Bay (Bull-own) auslief, hatte man als Landungspunkt für das Kabel 1865 den Hafen von Heart's Content, 55 Meilen näher der Trinity-Bay, gewählt; ebenso hatte man auf der irischen Küste einen andern Landungspunkt für das Küstenkabel gewählt, und zwar die Foilhommerum-Bay bei Valentia, einen schmalen Canal von beiläufig einer Meile Länge, der nur nach Westen offen, an allen Seiten durch 300 Fuss hohe Klippen gegen Wind und Wetter geschützt war. Nach Westen erblickte man den Atlantischen Ocean, aus welchem die Wogen stets in der Richtung des Kabels einliefen und daher keine scheuernde Bewegung desselben hervorrufen konnten. Nicht ganz eine Meile von den äussersten Klippen war auf einer Anhöhe

das Telegraphenhaus errichtet, in welches die Kupferader eines besonderen, bis zum Küstenkabel führenden Erdkabels mündete; von hier ging eine oberirdische Leitung nach Valentia und von da nach Killarney, an die übrigen Telegraphenleitungen Englands anschliessend. Durch die Wahl dieses Küstenpunktes kürzte man die Länge des Kabels um 50 Meilen. (Heutzutage findet man es vortheilhafter, möglichst viel Kabel unterseeisch zu bergen. So hat man sich z. B. beim Mackay-Bennet-Kabel entschlossen, dasselbe nicht in Brest, sondern in Havre zu landen, obwohl die Landung im erstgenannten Orte die Länge des Kabels um ein nicht unbedeutendes Stück ermässigt haben würde.)

Mit 21. Juli begann die Verlegung des Erd- und Küstenkabels. Am 23. Juli wurde das letztere mit dem Tiefseekabel am »Great Eastern« verbunden, und nachdem die Löthstelle sorgfältig geprüft und für gut befunden war, setzte sich das Riesenschiff um 7 Uhr 15 Minuten langsam in Bewegung und steuerte, in Begleitung der Schiffe »Terrible« und »Sphinx« dem fernen Westen zu. Das schwierige Werk der Tiefseekabellegung begann. Anfangs ging Alles vortrefflich von statten, und die Auslegemaschine arbeitete mit der grössten Sicherheit und Regelmässigkeit, so dass das Schiff nach und nach seine Geschwindigkeit auf 12 km per Stunde vergrössern konnte. Bis 10 Uhr Abends waren 150 km Kabel gelegt worden. Da bemerkte der Elektriker, welcher mit der Küstenstation correspondirte, dass der Lichtzeiger des Spiegelgalvanometers plötzlich über das Ende der Scala hinweglief, um nicht mehr zurückzukehren. Es war dies ein Anzeichen, dass sich die Stromstärke wesentlich

vergrössert habe, woraus man folgern konnte, dass der Strom in kurzem Schlusse vom Kabel direct ins Meer lief. Sofort ging man daran, die Entfernung des Fehlers durch Versuche und Rechnung zu bestimmen, doch wichen die gefundenen Resultate so weit von einander ab, dass man sich entschliessen musste, das Kabel abzuschneiden und wieder aufzuwickeln, bis der Fehler sichtbar werde. Diese Arbeit dauerte von Montag (24. Juli) Früh bis Dienstag Vormittag. Nachdem man über 18 km Kabel aufgenommen hatte, zeigte sich, dass ein Stück Eisendraht mitten durch die Guttaperchaisolirung hindurchgedrungen war. Das Drahtstück war an der einen Seite zugeschärft, wie wenn man es mit der Beisszange abgezwickt hätte. Nachdem eine neue Spleissung gemacht war, wurde mit den Versenkungsarbeiten gegen 3 Uhr wieder begonnen. Aber schon zehn Minuten später blieben die Signale aus, und die Messungen ergaben, dass der Fehler nicht in dem auf dem Schiffe befindlichen Theile des Kabels liege. Schon fürchtete man eine neue Reparatur vornehmen zu müssen, als ohne jede Veranlassung das Kabel wieder regelmässig zu functioniren begann. Man vermuthete, dass die Störung von der Landstation ausgegangen sei.

Am 26. hatte der »Great Eastern« 333 km zurückgelegt und 355 km Kabel versenkt, am 27. wurden durchschnittlich in der Stunde 11 km versenkt, wobei eine Meerestiefe von 3660 m erreicht wurde. Die Entfernung des Schiffes vom Lande betrug an diesem Tage 592 km; am nächsten Tage 881 km, und es waren bereits 983 km Kabel ausgelegt worden. Minder glücklich war man an den folgenden Tagen.

Am 29. Juli, nachdem schon 1326 km Kabel versenkt waren, zeigte sich abermals ein Fehler, der aber noch am nämlichen Tage gefunden und ausgebessert wurde. Als man das ausgeschnittene fehlerhafte Kabelstück näher betrachtete, zeigte sich ein Einschnitt in einem der Hanfstränge, mit welchen die Eisendrähte umsponnen waren, und man fand ein Stück Eisendraht, welches quer durch das Kabel hindurchgesteckt war. Canning war der Ansicht, dass hier eine böswillige Beschädigung vorliege, und sprach öffentlich von einem erkauften Kabelmörder. Von da an hielten die Beamten der Compagnie und die wenigen am Bord des Schiffes anwesenden Passagiere regelmässig Wache, um die Arbeiter zu beaufsichtigen. Am 31. Juli, 3 Uhr Morgens, war das Kabel aus dem hinteren Behälter versenkt, und man begann jenes aus dem vorderen Tender auszulegen, was nicht die mindesten Schwierigkeiten machte.

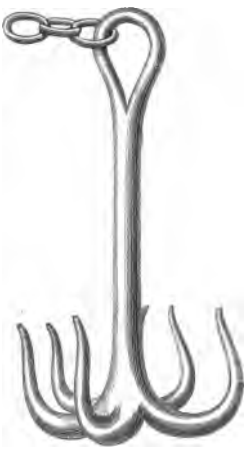
Der folgende Tag verlief ohne Unfall, aber um so unheilbringender war der nächste Tag, der 2. August. Bereits waren 2196 km Kabel versenkt, als ein Aufseher bemerkte, dass sich ein Draht der Umhüllung losgelöst hatte und die Guttapercha blossgelegt war.

Diese Meldung wurde anfangs nicht gebührend gewürdigt, bis auch die Elektriker das Vorhandensein eines Fehlers constatirten. Man musste nun die Aufwindemaschine in Thätigkeit setzen, um das fehlerhafte Stück wieder auf Deck zu bringen. Aber die Maschine arbeitete schlecht, und als sie einige Zeit nicht Dampf genug hatte, trat eine Verzögerung ein, während welcher das Kabel durch Reibung am Bug des Schiffes litt. Um das Kabel nicht zu verwirren, musste der »Great Eastern« still

halten, war nun nicht mehr zu steuern und wurde durch die Meeresströmung von seiner früheren Richtung abgetrieben. Das Kabel bildete nun mit der Mittellinie des Schiffes einen stumpfen Winkel und glitt von der äusseren Legerolle ab. Nach einigen vergeblichen Versuchen, dasselbe in Ordnung zu bringen, zerriss endlich das Kabel und verschwand in der Tiefe.

Die Bestürzung der Bemannung war grenzenlos. Viele weinten, und gerade wie zum Hohn schien die Sonne freundlich lächelnd auf die spiegelglatte raubgierige Meeresfluth. Der »Great Eastern« befand sich zu dieser Zeit in 51° 25′ nördlicher Breite und 39° 6′ westlicher Länge, und die Meerestiefe betrug 3570 m.

Fig. 20.



Sofort entschloss sich Canning, das Kabel wieder aufzufischen. Zu diesem Zwecke wurde ein Grapnelanker (Fig. 20) an einem Drahtseile von zehn Tonnen Tragkraft befestigt und auf den Meeresgrund hinabgelassen. Nun begann das Schiff den Anker quer über die Kabeltrace hin und her zu schleifen, und nachdem man dies die ganze Nacht fortgesetzt hatte, bemerkte man endlich um 8 Uhr Morgens an dem stärkeren Zuge des Ankerseiles, dass das Kabel gefasst worden sei. Sofort ging man daran, dasselbe zu heben, doch als man etwas mehr als den dritten Theil des Ankerseiles aufgewunden hatte, riss dasselbe und der Anker sank wieder in die Tiefe.

Nachdem noch zwei ähnliche Versuche mit ebenso unglücklichem Erfolge gemacht worden waren, blieb nichts Anderes übrig, als die Rückfahrt nach Irland anzutreten. Der »Terrible« segelte nach Neufundland, um dort Mittheilung über den unglücklichen Ausgang der Expedition zu machen.

Das abermalige Misslingen der Kabelexpedition war ein harter Schlag für die Unternehmung und erregte die lebhafteste Theilnahme aller civilisirten Nationen; aber trotz der Millionen, welche der Ocean unerbittlich verschlungen hatte, verloren die Betheiligten nicht den Muth, und es ist dies ein glänzendes Zeugniss für das Vertrauen, welches das moderne Capital der wissenschaftlichen Ueberzeugung der Physiker entgegenbrachte. Im März 1866 bildete sich eine neue Gesellschaft unter dem Namen Anglo-American-Telegraph-Company, welche sofort ein neues Kabel von etwa 3000 km Länge anfertigen liess, das auch schon am 15. Juni 1866 vollendet war. Die Herstellung desselben besorgte die altbewährte Firma Glass, Elliot & Co.

Am Baue der Ader wurde keinerlei Veränderung vorgenommen. Hingegen verwendete man als Schutzhülle verzinkte Eisendrähte und unterliess es, den dieselben umgebenden Hanf mit Compoundmasse zu tränken. Das Kabel gewann dadurch das Aussehen eines gewöhnlichen Seiles. Seine Festigkeit war noch etwas grösser als jene des Kabels von 1865, denn es brach erst bei dem Zuge eines 22 km langen, im Wasser hängenden Kabelstückes. Fig. 21 stellt den Querschnitt des Tiefseekabels, Fig. 22 jenen des Uferkabels dar. Der Eisenschutz des letzteren besteht aus zwölf 11 mm dicken Eisendrähten,

die mit einer aus Jute und Compound bestehenden Umspinnung gegen Rost geschützt sind. Der Durchmesser des Uferkabels erreicht die ansehnliche Grösse von 7 cm. Auch die Ausrüstung des »Great Eastern« erfuhr namhafte Verbesserungen. Die Auslegemaschine wurde mit zwei Dampfmaschinen von 70 Pferdekräften versehen und so construirt, dass sie auch als Aufwindemaschine dienen konnte. Eine starke Eisenconstruction wurde über der

Fig. 21.

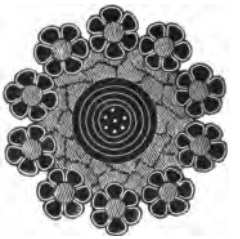
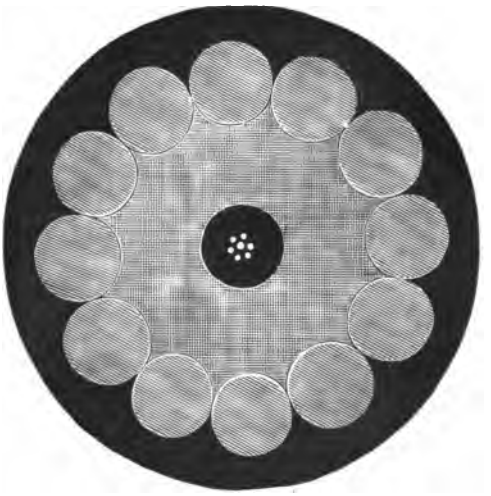


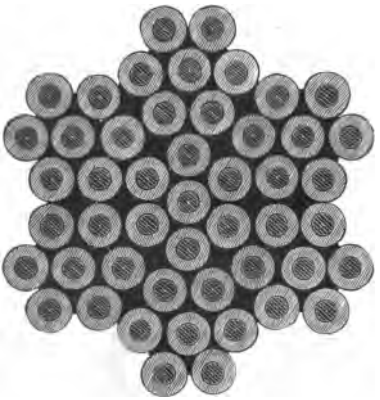
Fig. 22.



Schiffsschraube angebracht, um eine Beschädigung des Kabels durch dieselbe unmöglich zu machen. Damit das Schiff auch im ruhenden Zustande ohne Zuhilfenahme

des Steuerruders gedreht werden könne, machte man die Bewegung der Schaufelräder von einander unabhängig. Nach der Auslegung des neuen Kabels sollte die Expedition auch das alte vom Jahre 1865 wieder auffischen und mit einem neuen auf dem Schiffe befindlichen Stücke von fast 1300 km Länge zusammenspleissen, um so noch eine zweite Verbindung nach Neufundland zu gewinnen. Zu diesem Zwecke wurden der »Great Eastern« sowie dessen Begleitschiffe »Medway« und »Albany« mit allen zum Auffischen des Kabels nöthigen Vorrichtungen ausgerüstet.

Fig. 23.



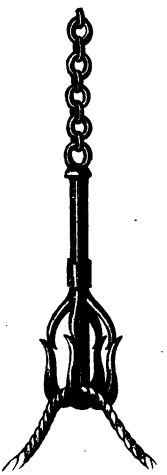
Nachdem die Tragkraft des früher benützten Fischankerseiles nicht ausreichend gewesen war, liess man ein neues von fast 30 Tonnen Zugfestigkeit in einer Länge von 37 km anfertigen. Dasselbe enthielt 49 mit Manilahanf umsponnene Eisendrähte von 2·4 mm Durchmesser. Dabei waren je sieben Drähte zu einer Litze vereinigt (Fig. 23).

Von diesem Seile führten die Schiffe »Great Eastern« und »Medway« je 14 km, das Schiff »Albany« 9 km am Bord. Um das Kabel im Falle der Gefahr eines Bruches vor dem Versinken schützen zu können, sowie zur Markirung gewisser Punkte der Meeresoberfläche, wurden

14 Bojen (eiserne Schwimmkörper) mitgeführt, zu deren Befestigung man ein 9 km langes Drahtseil bestimmt hatte. Zum Auffischen des Seiles dienten eigenthümlich eingerichtete Anker mit Springfedern, die das einmal gefasste Kabel nicht mehr entschlüpfen liessen (Fig. 24).

Die Legung des Kabels begann am 13. Juli 1866, wie früher von der Foilhommerum-Bay aus, und war am 27. Juli beendet. Während der ganzen Fahrt ereignete sich nur ein einziger Zwischenfall. Als nämlich in der Nacht am 17. Juli das Kabel vom hinteren Behälter ausgelegt wurde, warf dasselbe vor der Auslegemaschine zwei Schleifen, die sich, da die Maschine nicht sofort zum Stillstande zu bringen war, in einen schwer zu entwirrenden Knoten zusammenzogen. Das Schiff wurde jedoch in weniger als einer Minute angehalten, eine Schaufelradachse gelöst und dann mit solcher Geschicklichkeit gesteuert, dass eine zu grosse Anspannung des Kabels vermieden wurde. Obwohl die Nacht sehr finster war und strömender Regen das Arbeiten erschwerte, waren die Techniker doch so glücklich, in etwas mehr als zwei Stunden die wirren Massen wieder in Ordnung zu bringen, worauf das Schiff seine Fahrt ungestört beendete. Die Länge des vom Schiffe zurückgelegten Weges betrug 2785 km und es waren im Ganzen 3230 km Kabel versenkt worden. Mit unbeschreiblichem Jubel wurde der »Great Eastern« in Heart's Content

Fig. 24.



empfangen. Die Landung des drei Meilen langen Küstenkabels war mit Hilfe der Boote des »Terrible« am Freitag den 27. Juli vollendet und Canning hatte die Freude, in Gegenwart Field's und der übrigen Directoren der Unternehmung das Kabelende am Lande in Empfang zu nehmen. Nachdem die elektrischen Untersuchungen desselben die besten Resultate geliefert hatten, sendete der Director Gooch die erste Depesche nach Valentia an Richard Atwood Glass, den Chef des Hauses, welches das Kabel geliefert hatte. Die zweite Depesche war jene der Königin von England an den Präsidenten der Vereinigten Staaten, Andrew Johnson. Sie enthielt 40 Worte und brauchte zur Beförderung 21 Minuten. Nach drei Tagen traf die Antwort des Präsidenten an die Königin ein. Dieselbe enthielt 81 Worte und war während zehn Minuten über den Ocean befördert worden. Die Sprechgeschwindigkeit betrug somit acht Worte per Minute. Am 31. Juli und 1. August wurde noch die telegraphische Verbindung zwischen Neufundland und dem amerikanischen Festlande hergestellt, und bereits am 4. August konnte das Kabel dem allgemeinen Verkehre übergeben werden. Nach O. Henneberg*) betrugen die Kosten für jede der beiden Kabelexpeditionen in den Jahren 1865 und 1866 zwölf Millionen Mark. Die Taxe für ein Wort war zuerst mit 20, später mit 10 Mark festgesetzt. Die tägliche Einnahme betrug 16 bis 17.000 Mark und der Reingewinn stieg bald auf 25%. Der ausserordentlich hohe Preis der Telegramme ist später bedeutend herabgesunken, denn 1877 kostete das Wort 3·45, 1880 nur mehr 0·9 Mark.

*) Zetzsche, Handbuch der Telegraphie. 3. Bd., S. 254.

Nachdem der »Great Eastern« seine Hauptaufgabe so glücklich gelöst hatte, begann derselbe am 13. August die Hebung des versunkenen Kabels vom Jahre 1865 zu versuchen. Es war dies keine leichte Aufgabe, da man zur Auffindung der alten Kabeltrace nur die astronomischen Daten über die geographische Länge und Breite der Stelle, an welcher das Kabel verunglückt war, benützen konnte. Auch musste man sich in Acht nehmen, nicht etwa das Kabel von 1858 oder 1866 zu erfassen.

Der erste Enterhaken erreichte am 13. August um 1 Uhr 50 Min. den Meeresgrund.

Als nun das Schiff den Cours senkrecht gegen die Kabeltrace einschlug, um den Anker über das Kabel zu schleifen, gerieth es in heftige, entgegengesetzte Meeresströmungen, die in Verbindung mit widrigem Winde das Schiff fast gar nicht vom Platze kommen liessen, so dass der Anker wieder eingezogen werden musste. An den nächstfolgenden Tagen war das Wetter trüb und nebelig, so dass sich die manövrirenden Schiffe sehr vor einem Zusammenstoss in Acht nehmen mussten. Endlich gelang es, das Kabel zu fassen, und nachdem man dasselbe während der Nacht über 2000 m hoch gehoben hatte, befestigte man das Ankertau an eine Boje, um bei Tagesanbruch das Kabel vollständig aufzuwinden. Es scheint, dass die Befestigung nicht sicher genug hergestellt wurde, denn vor Tagesanbruch löste sich das Ankertau los und verschwand in der Tiefe. So war also der erste Versuch missglückt.

Ein nächster Versuch wurde am 16. August unternommen. Um 4 Uhr 30 Min. Nachmittags liess man den Enterhaken hinab, wobei über 4000 m Anker-

seil abliefen. Um 7 Uhr zeigte das Dynamometer einen stärkeren Zug an, woraus man schloss, dass das Kabel gefasst sei. Man wartete nun die Nacht ab und begann schon beim ersten Morgengrauen das Ankerseil einzuziehen. Um 8 Uhr hatte man fast schon 2000 m desselben aufgewunden, um halb 11 Uhr waren nur noch 30 m Ankertau vom Wasser bedeckt, und Alles wartete mit Spannung auf das Erscheinen des Kabels. Noch wenige Minuten, und unter donnernden Hurrahrufen erschien das Kabel über dem Meeresspiegel. Bei näherer Betrachtung desselben zeigte sich die untere Seite mit weisslichem Schlamme bedeckt, während die Oberseite ihre ursprüngliche schwarze Theerfarbe vollständig beibehalten hatte. Man wusste also, dass das Kabel nur mit seiner unteren Hälfte in weichem Schlamm eingebettet gewesen sei. Mit unbeschreiblicher Hast versuchte die Mannschaft die kostbare Beute in Sicherheit zu bringen. Doch gerade diese Hast sollte für den Erfolg verhängnissvoll werden.

Die Boote des »Terrible« wurden ausgesetzt und man ging daran, eine Klemmvorrichtung, welche an einem Drahtseile hing, an das Tau des Kabelankers zu befestigen; doch plötzlich schnappte derselbe um, man vernahm ein knarrendes Geräusch und schon im nächsten Augenblicke war das Kabel vom Ankerhaken abgeglitten und wieder in die Tiefe versunken. So war denn auch dieser Versuch misslungen, und es dauerte einige Zeit, bis sich die Betheiligten von ihrer Bestürzung erholt hatten, um aufs Neue mit unerschütterlicher Ausdauer ans Werk zu gehen. Eine ganze Woche verging, ohne dass man dem ersehnten Ziele näher kam; die

Vorräthe an Ankerseilen, Kohlen und Proviant verminderten sich zusehends, und schon begann Muthlosigkeit unter den Mitgliedern der Expedition einzureissen. Nur die Leiter der Unternehmung gaben die Hoffnung nicht auf und beschlossen, einen 80 Meilen östlicher gelegenen Ankergrund aufzusuchen, wo nach den Angaben der Seekarte die Meerestiefe nicht viel über 3000 m betrug. Canning operirte nun nach folgendem Plane: Das Kabel sollte an zwei Stellen vom Grunde gehoben, aber nicht bis zum Meeresspiegel aufgezogen werden. Der »Great Eastern« hatte dann die Aufgabe, das Kabel zwischen den beiden schwebenden Punkten zu fassen und die Hebung des auf diese Weise entlasteten Kabels bis zum Meeresspiegel durchzuführen. Das Manöver gelang vollständig. Am 31. August fasste der »Great Eastern« das Kabel und hob es bis zur Höhe von 1400 m unter dem Meeresspiegel, worauf das Ankertau an einer mächtigen Boje befestigt wurde. Sodann fuhr der »Great Eastern« drei, das Schiff »Medway« fünf Meilen nach Westen, so dass die Entfernung zwischen beiden Schiffen zwei Meilen betrug. Um 5 Uhr Nachmittags hatte der »Great Eastern« das Kabel gefasst und Canning liess dasselbe so weit aufwinden, dass sich der Anker nur mehr 550 m unter dem Meeresspiegel befand. Um halb 8 Uhr signalisirte das Schiff »Medway«, dass auch von diesem das Kabel gefasst worden sei. Sofort liess Canning am »Great Eastern« sämmtliche Operationen einstellen und signalisirte dem Schiffe »Medway« den Befehl, das Kabel zu durchschneiden, was mit Hilfe von messerartig geschärften Ankern, welche eigens zu diesem Zwecke mitgeführt waren, auch bald gelang. Um 10 Uhr Abends signali-

sirte das Schiff »Medway«, dass der Befehl ausgeführt sei.*) Der »Great Eastern« befand sich nun in sehr günstiger Lage, um das Kabel wieder zu gewinnen. Drei Meilen östlich wurde dasselbe 1400 m unter dem Meeresspiegel schwebend gehalten, während zwei Meilen westlich das abgeschnittene Ende lag. Die Nacht war mild, die See spiegelglatt, und der Mond spendete hinreichend Licht für die Arbeiten. Nun begann die Operation des Aufwindens, und mit jedem Zoll Ankertau, der aufgeholt wurde, wuchs die Spannung der gesammten Schiffsmannschaft. Endlich zehn Minuten vor 1 Uhr erschien der Rücken des Kabels über dem Wasserspiegel. Doch Niemand wagte, seiner Freude durch laute Zurufe Ausdruck zu verleihen, denn die Erinnerungen an die trübseligen Erfahrungen vom 17. August waren noch keineswegs verwischt. Nur leise flüsterten sich die Leute zu: »Es ist da«, während Canning seine Befehle ertheilte und mit aller Umsicht die Bergung des Kabels leitete. Erst um halb 4 Uhr Morgens war ein so langes Stück desselben an Bord gebracht worden, dass man zur Prüfung der elektrischen Leitungsfähigkeit schreiten konnte. Willoughby Smith legte die Kupferader des Kabels bloss und verband sie mit dem Spiegelgalvanometer. Lautlose Stille herrschte in der dicht mit Menschen gefüllten dunklen Cabine, und selbst das leise Ticken des Chronometers war deutlich hörbar. Nun sendete der Elektriker das erste Zeichen nach Valentia. Man sah den Lichtzeiger auf der Scala hin und her wandern, doch kam keine Antwort. Nach fünf Minuten sendete Smith ein zweites Zeichen. Auch dieses blieb unbeantwortet.

*) Schellen, Das atlantische Kabel. 1867.

Die Spannung der Anwesenden hatte ihren Höhepunkt erreicht, als Smith nach weiteren fünf Minuten ein drittes Zeichen absendete. Da bewegte sich nach kaum einer Minute der projicirende Lichtstrahl von selbst; die Antwort aus Valentia war eingetroffen! Mit einem lauten Freudenrufe, der sofort in sämmtlichen Räumen des Schiffes wiederhallte, begrüsste Willoughby Smith das ersehnte Zeichen aus der Heimat, und sofort sendete Canning die erste Depesche an Glass in Valentia, um seiner Freude über die glückliche Wiedergewinnung des Kabels Ausdruck zu verleihen. Am 2. September hatte man das Kabel mit dem am Bord befindlichen Reservestück zusammengespleisst, und der »Great Eastern« schlug nun seinen Cours nach Heart's Content ein, um die Verlängerung des aufgefischten Kabels bis zur amerikanischen Küste zu vollenden. Schon am 8. September Morgens landete das Schiff auf Neufundland und noch am Abend desselben Tages war das Kabelende in das Telegraphenhaus eingeführt. Die Betriebsergebnisse zeigten, dass das restaurirte Kabel nicht nur keinen Schaden genommen hatte, sondern dass seine Isolation durch den hohen Druck, den es am Meeresgrunde erfuhr, noch verbessert worden war und jene des Kabels vom Jahre 1866 sogar übertraf. So war denn auch die zweite Aufgabe der atlantischen Kabelexpedition gelungen, und man hatte während derselben zahlreiche werthvolle praktische Erfahrungen gewonnen, mit deren Hilfe die nachfolgenden Kabellegungen rasch und sicher durchgeführt wurden.

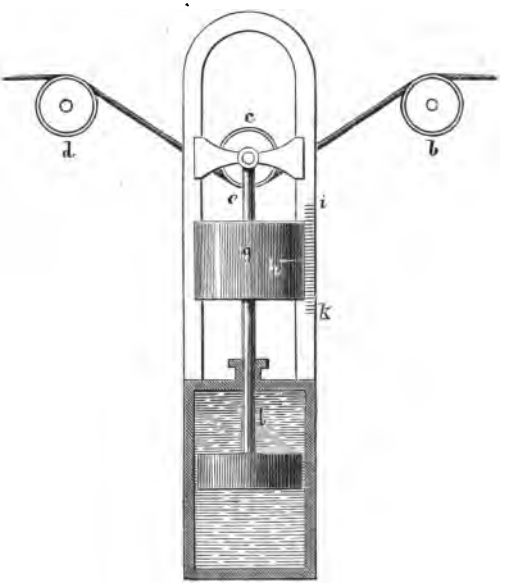
### 4. Einrichtung der Kabelschiffe.

Während man sich zuerst bemühte, schon vorhandene Schiffe für die Zwecke der Kabellegung zu adaptiren, war es bei den bedeutenden Capitalien, über welche die späteren Kabelgesellschaften verfügten, möglich, eigene, speciell für diesen Zweck dimensionirte und eingerichtete Schiffe zu bauen. Dieselben müssen mit den zum Aufbewahren der Kabel nothwendigen Räumen versehen sein. Die wichtigsten Verlegapparate sind 1. das Dynamometer, 2. die Kabelbremse. Das Dynamometer gestattet jederzeit, die Spannung des ablaufenden Kabels zu messen, die Bremse hingegen wird mit Berücksichtigung der Angaben des Dynamometers derart gehandhabt, dass weder zu viel Kabel ablaufen kann, was zu Schleifenbildungen Veranlassung geben würde, noch dass die Spannung zu gross wird, wodurch für das Kabel die Gefahr eines Bruches entstünde. Die Einrichtung des Dynamometers beruht auf dem Principe des Seilpolygons und ist in Fig. 25 schematisch dargestellt. Das Kabel läuft über drei Rollen *b c d*, von denen die mittlere in einer Coulissenführung auf- und abwärts beweglich ist. An der Achse der mittleren Rolle hängt ein schweres Gewicht, an welchem ein Kolben *l* befestigt ist, der in einem mit Wasser gefüllten Cylinder sich bewegt. Der Durchmesser des Kolbens ist etwas kleiner als jener des Cylinders, so dass sich der Kolben in diesem auf- und abwärts bewegen kann. Doch verhindern die Reibungswiderstände der Flüssigkeit allzu rasche Bewegungen und Stösse des Kolbens. Bezeichnen wir die Winkel,

welche die Kabelstücke zwischen den Rollen $b$ $c$ und $c$ $d$ mit der Achse $c$ $e$ des Kolbens einschliessen, mit $\alpha$ und $\beta$, die Spannung im Kabel mit $S$, so muss, damit Gleichgewicht herrsche, folgende Beziehung bestehen:

$$S \cos \alpha + S \cos \beta = Z,$$

Fig. 25.




wobei $Z$ den Zug bedeutet, welchen das Gewicht $g$ nach abwärts ausübt.

Wenn die Spannung des Kabels abnimmt, werden die Winkel $\alpha$ und $\beta$ kleiner und das spannende Gewicht sinkt. Steigt die Spannung im Kabel, so wachsen auch die Winkel $\alpha$ und $\beta$ und das Gewicht $g$ wird gehoben. Durch einen Index $h$ kann man an der Scala $ik$ jeder

Zeit die Spannung ablesen und danach die Bremse reguliren.

Fig. 26.

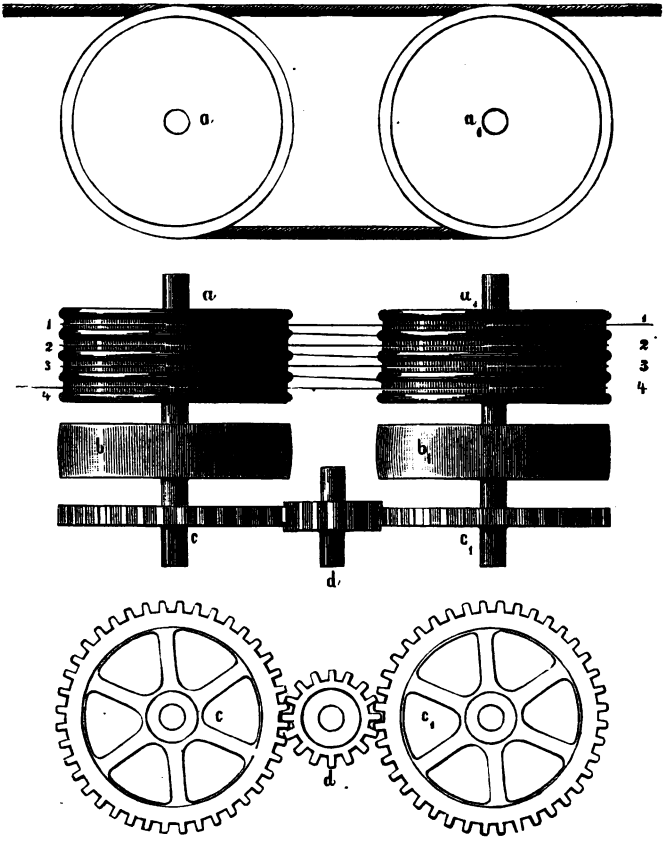



Fig. 26 zeigt in schematischer Zeichnung die Anordnung der Kabelbremse am »Great Eastern«. $a\,a_1$ sind eiserne Cylinder, in deren Mantelflächen Nuthen zur Auf-

nahme des Kabels eingeschnitten sind. Das Kabel läuft von der Nuth 1 auf $a_1$, in die Nuth 1 auf $a$, geht dann um die Scheibe $a$ herum und unterhalb derselben zurück in die Nuth 2 auf der Scheibe $a_1$, sodann in die Nuth 2 $a$ (oben), 3 $a_1$ (unten), 3 $a$ oben u. s. w. Die Kabelvorräthe sind in grossen cylindrischen Behältern (Tender) ringförmig aufgestapelt. Beim Auslegen führt man das Kabel aus dem Tender zu den Nuthrollen $a\,a_1$ und weiter durch das Dynamometer ins Meer. An den Achsen der Nuthrollen sitzen die Bremsscheiben $b\,b_1$ und die Zahnräder $c\,c_1$, zwischen welchen sich ein kleineres Zahnrad $d$ befindet. Durch dieses wird die vollständig synchrone Bewegung der beiden Nuthrollen gesichert. Die Bewegung der Scheiben $b\,b_1$ wird durch hölzerne Bremsklötze, welche eine Wasserkühlung erhalten, gehemmt. Die Bremsvorrichtung wird vom Beobachter des Dynamometers gehandhabt. Zu diesem Zwecke ist ein Rad, durch dessen Drehung die Bremse angezogen oder gelüftet wird, unmittelbar neben dem Dynamometer aufgestellt.

Die Figuren 27 bis 33 zeigen die Einrichtung eines neueren Kabelschiffes.*) Dasselbe ist 70 m lang, 10 m breit, hat 5 m Tiefgang, und fasst gegen 1000 Tonnen.

Als Motor dient eine Compoundmaschine von 1100 indicirten Pferdekräften. Dieselbe ist nicht in die Mitte des Schiffes, sondern näher gegen das rückwärtige Ende desselben verlegt, um möglichst wenig Platz für die Schraubenwelle zu beanspruchen und im vorderen Theile Raum für die grösseren Kabelbehälter zu gewinnen. Zwei cylindrische Siederohrkessel liefern die nöthige Dampf-

*) Telegraphic Journal, 9. Bd., 1881, pag. 310.

menge. Zwei kleinere Kessel dienen zum Betriebe der Schiffswinden, Dampfgangspillen, Kabelwinden und des Steuers. Vor dem Kesselraume befindet sich der grösste Kabeltender *a* (Fig. 27). Derselbe ist kreisrund, wasserdicht und besitzt an der Decke ein Mannloch mit wasserdichtem Abschluss, welches geöffnet wird, wenn man das Kabel ablaufen lässt. Die Höhe des Tenders beträgt 4·5 m, sein Durchmesser $9^1/_3$ m und es können in diesem Raume über 500 km Tiefseekabel untergebracht werden. In der Mitte des Kabeltenders steht ein hohler Eisencylinder, der mit Wasser gefüllt werden kann. Die gleiche Einrichtung finden wir bei den übrigen Kabelcylindern. Dieselben werden durch besondere Pumpen- und Rohranlagen mit Wasser versorgt. Der anstossende Kabelraum *b* ist als Doppeltender construirt. Im äusseren ringförmigen Raume wird gewöhnliches Kabel eingelagert, während der innere cylindrische Behälter zur Aufnahme des Taues für die Enterhaken (Kabel-Fischanker) dient. Der nächste weit kleinere Tender *c* ist für die Aufnahme von aus dem Meere aufgewundenen Kabelstücken bestimmt. Ein vierter Cylinder zwischen der Maschine und dem Salon *d* nimmt das Uferkabel auf. Die geometrischen Achsen sämmtlicher Kabeltender, die Oeffnungen derselben, sowie fast sämmtliche Leitrollen für das Kabel liegen in der Mittellinie des Schiffes, so dass das Kabel an keiner Stelle durch einen seitlichen Zug zum Ausspringen veranlasst wird. Neben dem Steuerruder bei *e* befindet sich Thomson's Tieflothmaschine zur Untersuchung des Meeresgrundes. Am vorderen Ende des Schiffes ist die Winde *f* (Fig. 28, S. 103) aufgestellt, welche zum Aufholen des Kabels dient. Dasselbe wird über die

Rollen *g h i*, in den Doppeltender geleitet. Zur Messung der Spannung im Telegraphenkabel, eventuell im Enterhakenseile, dienen die beiden Dynamometer $D_1$ und $D_2$ am vorderen und hinteren Ende des Schiffes (Fig. 27).

Nächst den Verlegerollen am vorderen Schiffsende ist eine Plattform aus Eisengitterstäben angebracht, auf welcher die mit dem Auslegen, beziehungsweise Auffischen des Kabels beschäftigten Arbeiter sich aufhalten. Die Aufwindetrommel ragt nur eine Spanne über das Oberdeck vor, und wird durch zwei starke liegende Dampfmaschinen bewegt. Dieselben sind auf dem Zwischendeck, das an dieser Stelle noch durch Eisenverspreizungen verstärkt ist, befestigt. Der Dampf für diese Maschinen wird entweder den früher erwähnten kleinen Kesseln, oder wenn nöthig, dem Hauptkessel entnommen. Der Maschinist hat fortwährend die Dynamo-

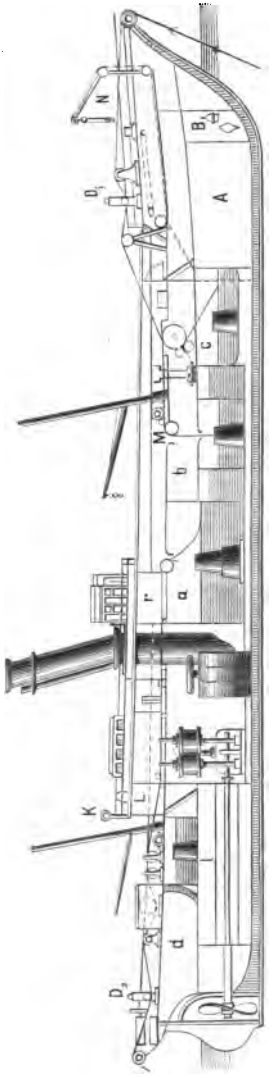



Fig. 27.

meterscala im Auge und kann nach Massgabe der gewünschten Kabelspannung die Geschwindigkeit der Maschine reguliren. Ueber dem grössten Tender *a* (Fig. 27) liegt ein Raum *r*, der mit allen zu elektrischen Messungen und zum Telegraphiren nöthigen Apparaten ausgestattet ist. Als Elektricitätsquelle dienen Warren de la Rue's Chlorsilberelemente*), als Messinstrumente zwei Thomson'sche Marine-Galvanometer nebst den erforderlichen Widerstandssäulen, Condensatoren, Umschaltern und sonstigen Apparaten.

Ueber dem Messraume befinden sich Compass und Steuerrad, neben diesen das Kartenzimmer, über welchem sich die Commandobrücke erhebt. Im Zwischendeck befindet sich neben dem Maschinenraume eine Werkstatt mit zwei Drehbänken, Bohrmaschinen, einem Schleifsteine und anderen bei Reparaturen erforderlichen Geräthen. Der Salon *d* (Fig. 27) stösst an die Empfangsräume des Capitäns, der Elektriker und des Schiffsarztes und ist vom Verdeckhäuschen durch eine Stiege zugänglich. Ueber die Bedeutung der übrigen Schiffsräume gibt nachstehende Legende Aufschluss:

In Fig. 27: *l* Schraubenwelle, *K* Standart-Compass nach Thomson, *L* Chronometerzimmer, *M* Dampfwinde, *N* Krahn, *A* Kabelvorräthe, *B* Bojenraum.

Fig. 28: I. Dynamometer, II. Rauchzimmer, III. Maschinenraum, IV. Ingenieurscabinen, V. Officierswohnungen.

Fig. 29: *C* Sopha, *E* Tische; VI. Capitänszimmer, VII. Empfangszimmer für den Chefelektriker, I. u. III. Zimmer der Elektriker, II. Arzt, IV. Proviantmeister, V. Speise-

*) Vergl. Elektrotechnische Bibliothek, 5. Bd.: W. P. Hauck: »Die galvanischen Batterien«, S. 224.

Fig. 28.

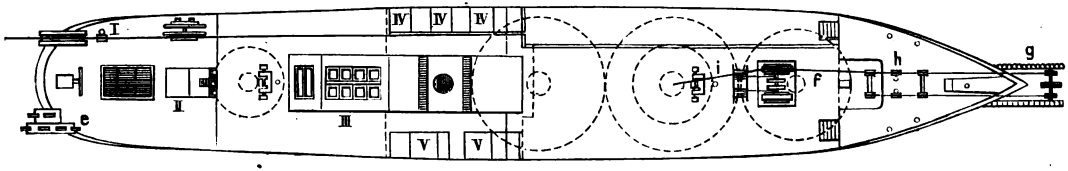



Fig. 29.

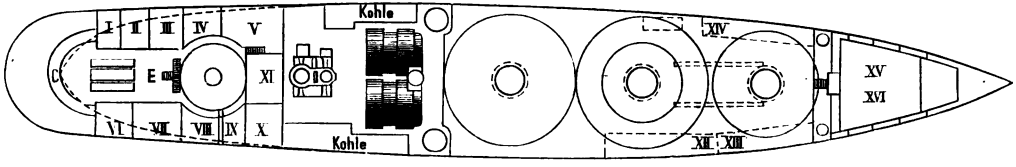



Fig. 30.

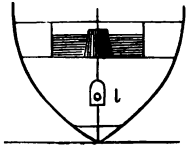



Fig. 31.

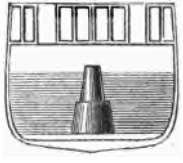


Fig. 32.

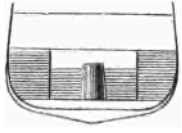
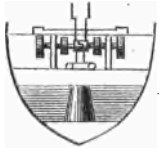


Fig. 33.



kammer, XI. Werkstatt, X. Messzimmer, VIII. u. IX. Badezimmer, XII. kleinere Kabelvorräthe, XIII. Lampenraum, XIV. Raum für die Vorräthe der Schmiede und Zimmerleute, XV. Heizer, XVI. Matrosen.

Die Figuren 30 bis inclusive 33 zeigen Schnitte durch den Schiffskörper und die Kabelräume. In Fig. 30 sieht man auch den Schnitt durch die Schraubenwelle *l*. Fig. 31 und 32 stellen die Schnitte durch die Kabelräume *a* und *b* (Fig. 27) dar. Fig. 33 zeigt uns den Kabelraum *c* und die darüber befindliche Dampfwinde.

## 5. Theorie der Kabellegung.

Gleichzeitig mit den technischen Vervollkommnungen der Kabelverlegungsapparate hat sich eine mathematische Theorie über die mechanischen Vorgänge während der Kabelverlegung ausgebildet, die wir hauptsächlich Dr. Werner Siemens verdanken.

Während der Operation des Kabellegens ist das Kabelschiff zumeist in Bewegung. Nur ausnahmsweise, so z. B. bei Reparaturen, wird dasselbe auf kurze Zeit angehalten. Im letzteren Falle bildet das vom Bug des Schiffes zum Meeresgrunde herabhängende Kabel eine Kettenlinie.

Kennt man die Meerestiefe $T$ (Fig. 34) und die horizontale Entfernung von $a$ bis $b$ (gleich $H$), so ist es leicht, die Gestalt der Curve zu berechnen.

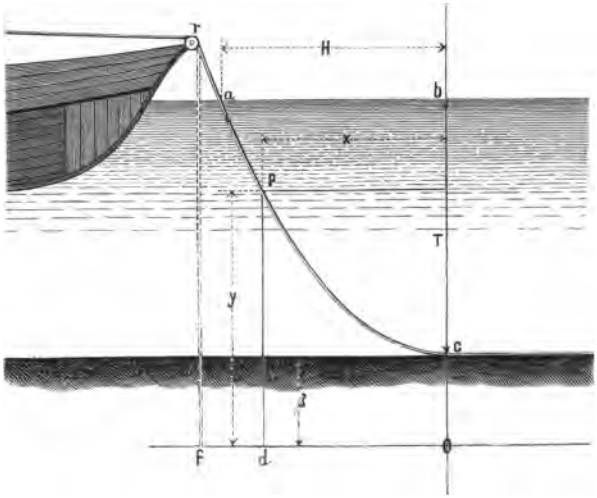
Man stellt zunächst folgende Gleichung auf:

$$T + \beta - \frac{\beta}{2}\left(e^{\frac{H}{\beta}} + e^{-\frac{H}{\beta}}\right) = 0. \quad . \quad 1$$

und bestimmt durch irgend ein Annäherungsverfahren die Unbekannte $\beta$.*)

Nun trägt man die Länge $\beta$ von $c$ nach abwärts auf und erhält so den Punkt $O$, den man zum Ursprunge eines rechtwinkeligen Coordinatensystems wählt. Für einen beliebigen Punkt $P$ gilt dann die Beziehung:

Fig. 34.




$$y = \frac{\beta}{2}\left(e^{\frac{x}{\beta}} + e^{-\frac{x}{\beta}}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2$$

Die Länge des Kabelstückes $\overline{ac} = s$ findet man durch folgenden Ausdruck:

$$s = \frac{\beta}{2}\left(e^{\frac{x}{\beta}} - e^{-\frac{x}{\beta}}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3$$

Multiplicirt man diese Länge mit dem Gewichte der (im Wasser versenkten) Längeneinheit des Kabels, so

*) $e = 2{\cdot}718281828$ = der Basis der natürlichen Logarithmen.

erhält man das absolute Gewicht des Kabelstückes $\overline{ac}$. Die Spannung im Kabelstücke $\overline{ar}$ ist gleich jener, welche durch ein an der Rolle $r$ frei herabhängendes Kabelstück $\overline{rf}$ von der Länge $(T + \beta)$ erzeugt würde. Wir bezeichnen dieselbe mit $Q$.

Bezeichnen wir ferner den Winkel, welchen eine durch den Punkt $a$ gelegte Tangente an die Kettenlinie mit der Horizontalen $ab$ einschliesst, mit $\tau$, so ist

$$\cos \tau = \frac{\beta}{\beta + T} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4$$

Die Spannung $Q$ lässt sich in eine horizontale *(A)* und verticale *(B)* Componente zerlegen. Die letztere vermehrt die Tauchtiefe des Schiffes und wird somit durch den hydrostatischen Druck aufgehoben. Die erstere ist durch folgende Gleichung bestimmt:

$$A = Q \cos \tau = \frac{Q\beta}{\beta + T} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5$$

Die Horizontalcomponente ist immer bestrebt, das Schiff gegen das schon verlegte Kabel hinzuziehen. Es ist deshalb nöthig, auch wenn das Schiff keine fortschreitende Bewegung machen soll, den Motor desselben im Gange zu erhalten, um den constanten Horizontalzug $A$ zu äquilibriren.

Bei Windstille ist es leicht möglich, den Winkel $\tau$ zu messen. Das Dynamometer gibt die Spannung $Q$, und aus den beiden Grössen $Q$ und $\tau$ lässt sich, wenn man noch das Gewicht der im Wasser versenkten Längeneinheit*) des Kabels kennt, die Meerestiefe und die Gestalt der Kettenlinie berechnen.

*) Wir wollen dasselbe mit $\gamma$ bezeichnen.

Es ist nämlich

$$Q = (T + \beta)\,\gamma;\ \cos\tau = \frac{\beta}{T+\beta}$$

Löst man diese beiden Gleichungen nach den Unbekannten $T$ und $\beta$ auf, so ergibt sich

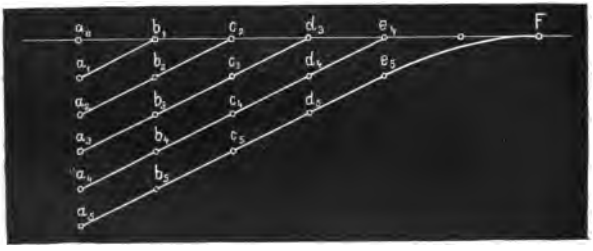
$$\beta = \frac{Q}{\gamma}\cos\tau;\ T = \frac{Q}{\gamma}(1 - \cos\tau).$$

Mit Hilfe der Gleichung (1) gelingt es dann leicht, auch noch die Entfernung $H$ zu berechnen.

Ist hingegen das Schiff in Bewegung, und läuft das Kabel regelmässig ab, so ist die Gestalt der Kabelcurve von der Geschwindigkeit des Schiffes und den Querschnittsdimensionen des Kabels abhängig, und dasselbe bildet nahezu eine gerade Linie. Um diese Behauptung zu begründen, betrachten wir zunächst die Fallbewegung eines Körpers im widerstehenden Mittel. Der Widerstand des Mittels ist dem Quadrate der Bewegungsgeschwindigkeit direct proportional. Die Fallbewegung eines im Wasser untersinkenden Körpers ist anfangs eine beschleunigte, wird aber, wenn eine bestimmte Fallgeschwindigkeit erreicht wurde, nahezu constant, da dann die gesammte Energie der Schwerkraft zur Ueberwindung der Reibung aufgewendet wird. Beim Versenken der Kabel in Meerestiefen von mehreren tausend Metern kann man annehmen, dass die Fallbewegung des Kabels zum grössten Theil eine gleichförmige sei. Setzen wir nun voraus, das Schiff bewege sich mit der constanten Geschwindigkeit $c$ und die schliessliche Fallgeschwindigkeit des Kabels sei $v$. Wenn wir momentan von den im Kabel auftretenden Spannungen absehen und uns das Kabel während der Operation des Auslegens in kurze,

gleich lange Stücke zerschnitten denken, so können wir die Bewegung jedes einzelnen Stückes verfolgen und uns schliesslich durch Aneinanderreihen der einzelnen Stücke eine Vorstellung vom Verlaufe des zusammenhängenden Kabels machen. Nehmen wir an, in der ersten Secunde sei das Kabelstück $a_1\ b_1$ (Fig. 35) abgelaufen, wobei das Kabelende von $a_0$ bis $a_1$ gesunken, das Schiff von $a_0$ bis $b_1$ fortgeschritten ist. In der nächsten Secunde läuft ein zweites Stück $b_2\ c_2$ ab, während $a_1\ b_1$ bis in die Lage

Fig. 35.




$a_2\ b_2$ sinkt. Am Ende der dritten Secunde ist das Stück $a_3\ b_3\ c_3\ d_3$, am Ende der vierten die Länge $a_4$ bis $e_4$ versenkt u. s. w. Dabei haben wir allerdings nicht berücksichtigt, dass die Fallbewegung des Kabels im Anfange eine beschleunigte ist. Deshalb können wir nur von den in grösserer Tiefe schwebenden Partien des Kabels voraussetzen, dass sie gerade Linien bilden, während nahe der Oberfläche des Meeres eine nach aufwärts convexe Curve an die Stelle der Geraden tritt, wie diese in $a_5\ e_5\ F$ angedeutet ist.

Bis nun haben wir noch nicht auf die im Kabel auftretenden Spannungen Rücksicht genommen. Dieselben

nehmen zwar keinen Einfluss auf den geradlinigen Theil der Kabelcurve, wohl aber auf das convexe Stück $e_5 F$, das bei entsprechend starkem Zuge ebenfalls nahezu in eine Gerade übergeht. Es ist somit (praktisch genau) die ganze Kabelcurve als eine gerade Linie zu betrachten. Die Geschwindigkeit des Schiffes $c$ ist gleich $a_1 b_2 = b_1 c_2 = \ldots$ und die Fallgeschwindigkeit $v = a_0 a_1 = a_1 a_2 = \ldots$, somit ergibt sich für den Neigungswinkel $\alpha$ des Kabels gegen den Horizont die Bestimmungsgleichung:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{c} \quad \ldots \quad \ldots \quad 6$$

Longridge und Brookes*) haben eine mathematische Theorie über die Gestalt der Kabelcurve aufgestellt, die jedoch von Seite competenter Fachmänner wenig Beifall gefunden hat, weshalb wir dieselbe unberücksichtigt lassen wollen. Die folgende Darstellung schliesst sich an eine von Siemens in den Annalen der Berliner Akademie (1874) veröffentlichte Theorie an.

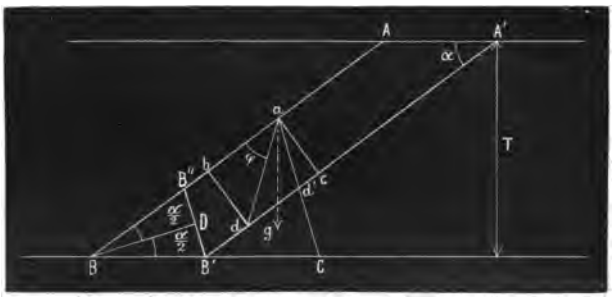
Bezeichnen wir (Fig. 36) mit $\varphi$ den Winkel zwischen der Richtung des Kabels und der Richtung, in welcher jedes Kabelstück wirklich zu Boden sinkt, mit $u$ die constante Geschwindigkeit, mit welcher das Kabel in verticaler Lage im Wasser fällt, mit $v$ die Fallgeschwindigkeit, wenn das Kabel horizontal liegt, mit $\gamma$ das Gewicht der Längeneinheit des Kabels im Wasser, mit $T$ die Meerestiefe, mit $l$ die Länge des geradlinig im Wasser suspendirten Kabelstückes, mit $p$ die Zugspannung des Kabels an der Meeresoberfläche, mit $s$ das Verhältniss des

*) Proc. of the instit. of civil ingeneers. vol. XVII. London 1858.

Ueberschusses der auslaufenden Kabelmenge zum gleichzeitigen Fortschritt des Schiffes.*)

Es sei $A' B'$ die Lage, in welche das Kabel $A B$ nach der Zeiteinheit gelangt ist. Dabei ist der Punkt $a$ nach $d$ gekommen. Die Bewegung des Punktes $a$ können wir in zwei Componenten $\overline{ab}$ und $\overline{ac}$ zerlegen. $\overline{ab}$ und $\overline{ac}$ sind dann zugleich die Bewegungsgeschwindigkeiten des Seiles in zwei auf einander senkrechten Richtungen. Der in der Richtung $\overline{ab}$ auftretende Bewegungs- (Rei-

Fig. 36.




bungs-) Widerstand ist der Geschwindigkeit $\overline{ab}$ proportional. Hingegen ist der in der Richtung $\overline{ac}$ wirksame Massenverdrängungs-Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit $\overline{ac}$ proportional.

Bezeichnen wir mit $r$ den Coëfficienten des Gleitwiderstandes, mit $q$ jenen des Widerstandes durch Massenverdrängung, so bestehen folgende Gleichgewichtsbedingungen:

$$l \cdot \gamma \cdot \sin \alpha - r \cdot l \cdot \overline{ab} - p = 0 \quad \ldots \quad 7$$

$$l \cdot \gamma \cdot \cos \alpha - q \cdot l \cdot \overline{ac}^2 = 0 \quad \ldots \quad 7a$$

*) Von den Engländern »slack« benannt.

Die Bedeutung der Coëfficienten $r$ und $q$ erhellt aus folgenden Gleichungen:

$$u\,r = \gamma;\; v^2\,q = \gamma \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 8$$

Dabei sind $u$, $v$ und $\gamma$ die früher definirten mechanischen Constanten des Kabels, welche schon vor der Verlegung bestimmt werden können.

Berücksichtigt man nebst Gl. 8 den folgenden Ausdruck:

$$\overline{ac} = c \sin \alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 9$$

so nimmt Gl. 7a die Form an:

$$v^2\,q \cos \alpha - q\,c^2 \sin^2 \alpha = 0.$$

Um $\alpha$ zu bestimmen, kürzt man durch $q$ und setzt

$$\sin^2 \alpha = 1 - \cos^2 \alpha.$$

Dann ergibt sich die quadratische Gleichung:

$$\cos^2 \alpha + \frac{v^2}{c^2} \cos \alpha - 1 = 0 \quad . \quad . \quad . \quad 10$$

Durch Auflösung der Gleichung erhalten wir

$$\cos \alpha = -\frac{v^2}{2\,c^2} \pm \sqrt{1 + \frac{v^4}{4\,c^4}} \quad . \quad . \quad 11$$

Da $\alpha$ unbedingt kleiner als $90^0$ ist, muss $\cos \alpha$ positiv sein. Somit gilt nur das obere Zeichen.

Aus Gl. 10 ergibt sich andererseits:

$$\frac{v}{c} = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{\cos \alpha}} = \operatorname{tg} \alpha \sqrt{\cos \alpha} \quad . \quad . \quad 11a$$

Der Winkel $\alpha$ besitzt in praktischen Fällen meist nur kleine Werthe, so dass man annäherungsweise $\sqrt{\cos \alpha} = 1$ setzen kann, wodurch aus Gl. 11a die Näherungsformel 6 (S. 109) hervorgeht.

Zur Ermittelung der Bremskraft $p$ (Seilspannung) dient Gl. 7. Fassen wir nun die Bedeutung der Grösse $\overline{ab} = \overline{dc}$

ins Auge. Wenn man ohne Ueberschuss (slack) verlegt, so rückt der Punkt $d$ nach $d'$ (Fig. 36) und es ist $aB = BB' + B'd'$. Um den Punkt $d'$ zu finden, macht man $BB'' = BB'$ und $B'd' = B''a$. Zieht man nun $BD \perp B'B''$, so wird der Winkel $\alpha = B'BB''$ durch die Gerade $BD$ halbirt. Da nun $aC \perp BD$ und $ac \perp BA$, so ist auch

$$\sphericalangle Cac = \sphericalangle DBB'' = \frac{\alpha}{2}$$

somit

$$\overline{d'c} = \overline{ac} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = c \sin \alpha \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Die Strecke $\overline{dd'}$ entspricht der Länge des überflüssig ablaufenden Kabels und ist gemäss der früher eingeführten Bezeichnung durch das Product $cs$ auszudrücken.

Somit haben wir

$$\overline{ab} = c \sin \alpha \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + cs$$

$$p = l\gamma \sin \alpha - rcl \left(\sin \alpha \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + s\right).$$

Aus Fig. 36 ergibt sich:

$$l \sin \alpha = T$$

somit ist

$$p = T\gamma - cr T \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \frac{s}{\sin \alpha}\right)$$

und mit Rücksicht auf die erste der Gl. 8

$$p = T\gamma - T\gamma \frac{c}{u} \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \frac{s}{\sin \alpha}\right) \quad . \quad . \quad 12$$

Setzt man $s = o$, so erhält man die Bremskraft beim Verlegen ohne slack:

$$P = T\gamma - T\gamma \frac{c}{u} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad . \quad . \quad . \quad 13$$

Das erste Glied in Gl. 12 ist in praktischen Fällen weitaus grösser als das zweite, so dass man näherungsweise die Bremskraft gleich dem Gewichte eines senkrecht im Meere bis zum Grunde herabhängenden Kabels setzen kann. Es ist dieser Annäherungswerth übrigens nur eine obere Grenze, die dann nahezu erreicht wird, wenn das Schiff mit grosser Geschwindigkeit ohne slack auslegt.

Von dieser oberen Grenze sind zwei Glieder, welche wir mit $P'$ und $S$ bezeichnen wollen, abzuziehen:

$$P' = \frac{c}{u} \gamma T \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; S = \frac{c}{u} \gamma T \frac{s}{\sin \alpha} \quad . \quad 14$$

$P'$ ist die Gleitreibung, wenn ohne, $P' + S$ jene, wenn mit slack ausgelegt wird.

Fassen wir nun einen speciellen Fall ins Auge und nehmen wir für die mechanischen Kabelconstanten nachstehende Werthe an:

$\gamma = 0{\cdot}5$ kg per laufenden Meter (im Wasser),
$u = 7$ m; $v = 1$ m per Secunde.

Dieselben entsprechen beiläufig den Constanten eines schweren atlantischen Kabels, für welches Longridge und Brookes ihre Rechnungen durchgeführt haben.

Nehmen wir ferner eine Meerestiefe von 2800 m an und setzen wir voraus, dass 10% mehr Kabel versenkt wurden, als unbedingt nöthig ist ($s = 0{\cdot}1$), so

ergeben sich für $P$, $P'$, $S$ und $p$ bei einer Schiffsgeschwindigkeit $c$ von 1—5 m folgende Werthe (in kg):

| $c =$ | 1 m | 2 m | 3 m | 4 m | 5 m |
|---|---|---|---|---|---|
| $P =$ | 1302·81 | 1300·02 | 1299·95 | 1299·88 | 1300·19 |
| $P' =$ | 97·19 | 99·98 | 100·05 | 100·12 | 99·81 |
| $S =$ | 25·44 | 84·97 | 185·08 | 325·01 | 505·33 |
| $p =$ | 1277·37 | 1215·05 | 1114·87 | 974·87 | 794·86 |
| $\alpha =$ | 51° 50′ | 28° 5′ | 18° 55′ | 14° 15′ | 11° 25′ |

$$\gamma\, T = 1400 \text{ kg}.$$

Dieser Tabelle ist zu entnehmen, dass der Winkel $\alpha$ mit steigender Geschwindigkeit des Schiffes fortwährend abnimmt. Der Reibungswiderstand $P'$ und die Bremskraft $P$ beim Verlegen ohne slack sind fast unabhängig von der Schiffsgeschwindigkeit und direct proportional der Meerestiefe $T$. Hingegen ist der durch Verlegen mit Ueberschuss entstehende Reibungswiderstand $S$ nahezu dem Quadrate der Schiffsgeschwindigkeit proportional und äussert einen bedeutenden Einfluss auf die nöthige Bremskraft $p$. Dieselbe kann unter Umständen selbst gleich Null werden, auf welchen Fall wir noch später zurückkommen.

In der nachstehenden Tabelle ist mit Benützung der nämlichen Kabelconstanten die Bremskraft $p$ für verschiedene Meerestiefen und Schiffsgeschwindigkeiten berechnet, wobei die Meerestiefen von 700 zu 700 m fortschreiten.

| $p$ \ | $c = 1$ m | $c = 2$ m | $c = 3$ m | $c = 4$ m | $c = 5$ m | $\gamma T$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $T =$ 700 m | 319·3 | 303·7 | 278·7 | 243·7 | 198·7 | 350kg |
| $T =$ 1400 m | 638·7 | 607·5 | 557·4 | 487·4 | 397·5 | 700 » |
| $T =$ 2100 m | 958·0 | 911·2 | 836·1 | 731·1 | 596·2 | 1050 » |
| $T =$ 2800 m | 1277·4 | 1215·1 | 1114·9 | 974·9 | 795·0 | 1400 » |
| $T =$ 3500 m | 1596·7 | 1518·7 | 1393·5 | 1218·5 | 993·7 | 1750 » |
| $T =$ 4200 m | 1916·0 | 1822·4 | 1672·2 | 1462·2 | 1192·4 | 2100 » |

Für die Bestimmung des Winkels $\varphi = \sphericalangle\, b\,a\,d$ (Fig. 36, S. 110), durch welchen die Fallrichtung jedes Kabelelementes gegeben ist, erhalten wir die Gleichung:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\overline{a\,c}}{c\,d} = \frac{c \sin\alpha}{c \sin\alpha \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} + c\,s} = \frac{1}{\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} + \frac{s}{\sin\alpha}}$$

Aus Gl. 12 (S. 112) findet man

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} + \frac{s}{\sin\alpha} = \frac{T\gamma - p}{T\gamma c} \cdot u \quad \ldots \quad 15$$

somit ist

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{c}{u} \cdot \frac{T\gamma}{T\gamma - p} \quad \ldots \quad 16$$

oder, wenn man $T\gamma - p = p'$ setzt:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{c}{u} \cdot \frac{T\gamma}{p'} \quad \ldots \quad 17$$

Ersetzt man in Gl. 15 den Zähler $T\gamma - p$ durch $p'$ und löst dieselbe nach $s$ auf, so ergibt sich:

$$s = \frac{p'}{T\gamma} \cdot \frac{u}{c} \cdot \sin\alpha - 2\sin^2\frac{\alpha}{2} \quad \ldots \quad 18$$

und mit Rücksicht auf Gl. 17

$$s = \sin\alpha \operatorname{ctg}\varphi - 2\sin^2\frac{\alpha}{2}.$$

Im Laufe der Untersuchung wurden für $\alpha$ zwei verschiedene Formeln aufgestellt: die Näherungsformel 6 (S. 109) und die genaue Formel 11 (S. 111).

Wir wollen nun die Werthe, welche sich für $\alpha$ aus beiden Gleichungen ergeben, mit einander vergleichen und dabei die nämlichen Kabelconstanten benützen, mit denen die Tabelle auf Seite 114 berechnet wurde.

| $c =$ | 1 m | 2 m | 3 m | 4 m | 5 m |
|---|---|---|---|---|---|
| $\alpha =$ nach Gleichung 11 | 51° 50′ | 28° 5′ | 18° 55′ | 14° 15′ | 11° 25′ |
| $\alpha =$ nach Gleichung 6 | 45° 0′ | 26° 34′ | 18° 26′ | 14° 2′ | 11° 19′ |

Aus dieser Nebeneinanderstellung ist zu entnehmen, dass, sobald die Schiffsgeschwindigkeit mehr als 3 m per Secunde oder sechs Seemeilen per Stunde beträgt, die nach beiden Formeln gerechneten Winkel praktisch genau übereinstimmen, und dass wir uns demnach ohne wesentlichen Fehler der Gl. 6 bedienen können.

Eliminirt man mit Hilfe der Gl. 6 den Winkel $\alpha$ aus den Gl. 12, 13 und 18, so ergeben sich, wenn man Grössen von der Ordnung $\left(\frac{v}{c}\right)^3$ vernachlässigt, folgende Näherungsformeln:

$$p = \gamma T \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{v}{u} - \frac{c^2}{uv} s\right) \quad . \quad . \quad . \quad 19$$

$$P = \gamma T \left(1 - \frac{1}{2} \frac{v}{u}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 20$$

$$s = \left(1 - \frac{p}{\gamma T}\right) \frac{uv}{c^2} - \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} \quad . \quad . \quad . \quad 21$$

Die letzte Gleichung zeigt, dass in der That die überschüssig ablaufende Seilmenge $s$ dem Quadrate der Schiffsgeschwindigkeit verkehrt proportional ist und ausserdem hauptsächlich von der Differenz $(\gamma T - p)$ abhängt. Von den Grössen, durch welche $s$ in Gl. 21 ausgedrückt erscheint, können sich die Bremskraft $p$, die Meerestiefe $T$ und die Schiffsgeschwindigkeit $c$ ändern.

Um den Einfluss dieser Aenderungen auf die Mehrausgabe kennen zu lernen, suchen wir die partiellen Differentialquotienten von $s$ nach den veränderlichen $T$, $p$ und $c$.

$$\frac{\partial s}{\partial T} = \frac{uvp}{\gamma c^2 T^2}; \quad \frac{\partial s}{\partial p} = -\frac{uv}{\gamma c^2 T}; \quad \frac{\partial s}{\partial c} = -\frac{2s}{c}. \quad . \quad 22$$

Um die percentischen Aenderungen einzuführen, berücksichtigen wir, dass in jedem dieser drei Fälle die Anzahl der Percente, um welche sich $s$ ändert, durch den Ausdruck $\left[100 \frac{\partial s}{s}\right]$ gegeben ist. Dann haben wir

$$\left.\begin{aligned} \left[100 \frac{\partial s}{s}\right]_T &= \left[100 \frac{\partial T}{T}\right] \frac{uvp}{\gamma s c^2 T} \\ \left[100 \frac{\partial s}{s}\right]_p &= -\left[100 \frac{\partial p}{p}\right] \frac{uvp}{\gamma s c^2 T} \\ \left[100 \frac{\partial s}{s}\right]_c &= -2 \left[100 \frac{\partial c}{c}\right] \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad 23$$

Die letzte von diesen Gleichungen sagt uns, dass, wenn z. B. die Schiffsgeschwindigkeit um $2\%$ zunimmt, hierdurch — bei sonst gleichen Umständen — die überschüssige Mehrausgabe an Kabel um das Doppelte, d. i. um $4\%$ abnimmt.

Um noch einen speciellen Fall zu behandeln, setzen wir

$$T = 3500\,\text{m};\ c = 3\,\text{m};\ u = 7\,\text{m};\ v = 1\,\text{m};\ \gamma = 0{\cdot}5\,\text{kg};$$
$$s = 0{\cdot}1\ (10\%).$$

Aus der Tabelle auf Seite 115 erhalten wir dann $p = 1393{\cdot}5$ kg. Substituiren wir diese Werthe in die ersten beiden Gl. 23, so ergibt sich

$$\left[100\,\frac{\partial s}{s}\right]_T = 6{\cdot}2\left[100\,\frac{\partial T}{T}\right];\quad \left[100\,\frac{\partial s}{s}\right]_p = -\,6{\cdot}2\left[100\,\frac{\partial p}{p}\right].$$

Wir entnehmen diesen Ausdrücken, dass eine Vermehrung der Meerestiefe um $1\%$ unter sonst gleichbleibenden Verhältnissen eine mehr als sechspercentige Vergrösserung des slack zur Folge hat, dass hingegen eine ebenso grosse Vermehrung der Bremskraft nahezu $6\%$ Ersparniss an slack bedingt. Will man mit constantem Kabelüberschuss auslegen, so muss bei veränderlicher Meerestiefe die Bremskraft gerade so zunehmen als wie die Meerestiefe.

Im Allgemeinen ergibt sich — auch aus den Näherungsformeln 19, 20, 21 — dass man, um ein Kabel mit bestimmter Mehrausgabe zu legen, nebst der genauen Kenntniss der mechanischen Kabelconstanten noch jener der Meerestiefe und Schiffsgeschwindigkeit bedarf.

Die beiden letztgenannten Grössen lassen sich jedoch während der Verlegung nur approximativ bestimmen. Ein Mittel, sich von der Meerestiefe unabhängig zu machen, besteht darin, dass man ohne Bremsgewicht auslegt. Dann ist $p = 0$ und wir erhalten aus Gl. 19:

$$s = \frac{v(2u - v)}{2c^2} \quad \ldots\ldots \quad 24$$

$s$ ist dann nur mit der Schiffsgeschwindigkeit variabel. Will man ohne Ueberschuss verlegen, so muss $2u - v = O$ oder $2u = v$ sein, d. h. man müsste das Kabel mit sehr grosser Gleitreibung ausstatten, was wohl nur durch Anwendung von Fallschirmen gelänge.

Beim Verlegen mit slack kann die Schiffsgeschwindigkeit nach folgender Formel berechnet werden:

$$c = \sqrt{\frac{v(2u - v)}{2s}} \quad \ldots \ldots \quad 25$$

Man erhält diese Formel, indem man Gleichung 24 nach $c$ auflöst.

Für $v = 1$ m, $u = 7$ m, $s = 0{\cdot}1$ müsste die Schiffsgeschwindigkeit $c = 8$ m sein. Für ein etwas leichteres Kabel können wir setzen: $v = 0{\cdot}4$ m, $u = 3{\cdot}3$ m und erhalten, wenn $s = 0{\cdot}1$, für die Schiffsgeschwindigkeit $c$ den Werth 3·5 m. Ein derartiges Kabel lässt sich auch mit einem gewöhnlichen Schiff von geringer Fahrgeschwindigkeit ohne Bremsgewicht verlegen.

Ein anderes Verfahren hat Dr. C. W. Siemens vorgeschlagen. Man bestimmt durch einen Versuch, welche Bremskraft nöthig ist, um mit gegebener Mehrausgabe zu verlegen. Die Bremse wird zuerst bei constanter Schiffsgeschwindigkeit mehr und mehr belastet, bis endlich keine Abnahme in der Ablaufgeschwindigkeit des Kabels bemerkbar ist. Man hat dann die Belastung gefunden, bei welcher das Seil ohne slack abläuft, und kann nun die Bremskraft nach Belieben so weit vermindern, dass die gewünschte Mehrausgabe erzielt wird. Bei stark bewegtem Meere und sehr unebenem Meeres-

grunde treten jedoch Unregelmässigkeiten auf, die auch, dieses Verfahren unmöglich machen.

Mit Sicherheit wird man nur in der Weise stets einen vorher bestimmten Mehrverbrauch erzielen können wenn man gleichzeitig mit dem Kabel eine Schnur oder einen Draht auslaufen lässt, dessen Coëfficienten $u$ und $v$ annähernd mit jenen des Kabels übereinstimmen.

Wenn man dann dieses Kabelmodell mit einer Bremskraft zurückhält, welche genügt, um ein Slackwerden desselben zu verhindern, so bildet ein angebrachter Zählapparat einen unfehlbaren, durch Meeresströmungen nicht beeinflussbaren Schiffsgeschwindigkeitsmesser und man braucht die eigentliche Kabelbremse immer nur so stark zu belasten, dass die stets ersichtliche Auslaufgeschwindigkeit des Kabels in dem gewünschten Verhältnisse zu jener des Kabelmodells steht.

Die hiedurch erwachsenden Mehrkosten werden dadurch reichlich aufgewogen, dass der ohne slack ausgelegte Draht nicht die horizontale Schiffsgeschwindigkeit, sondern die überschrittene Länge des Meeresbodens misst und auch schon den nöthigen Kabelbedarf zur Ausfüllung der Unebenheiten des Meeresgrundes anzeigt. Die Gefahr des Eintretens von Spannungen auf unebenem Meeresgrunde und die Bildung von längeren Kettenlinien des Kabels soll ja eben durch die gebräuchliche Mehrausgabe von 10 bis 15% der theoretisch nöthigen Kabellängen hintangehalten werden.

Durch Ersparung an ausgelegtem Kabel werden die Kosten des Kabelmodells reichlich ersetzt.

### 6. Die neueren atlantischen Kabel.

Die glückliche Vollendung der ersten beiden transatlantischen Leitungen durch den »Great Eastern« und die hohe Rentabilität dieser Linien waren lebhafte Anregungen zu weiteren Unternehmungen gleicher Art. Vor Allen war es die Anglo-American-Telegraph-Company, welche im Jahre 1869 den bestehenden, in ihrem Besitze befindlichen beiden Kabeln nach Nordamerika ein drittes hinzufügte.

Dasselbe wurde von der Telegraph-Construction- and Maintenance-Company angefertigt, und zwischen Brest und St. Pierre verlegt. An dieses 4785 km lange Kabel schliesst sich ein solches von 1387 km Länge, das die Verbindung mit Duxbury (Massachusetts) am amerikanischen Festlande herstellt. Der Bau des Kabels wich nur insoferne von dem der früheren ab, als man die Kupferlitze stärker gewählt hatte. Der Durchmesser derselben betrug 4·3 mm, jener der Guttaperchahülle 11·9 mm, der Gesammtdurchmesser der Schutzhülle 29 mm.

Das Gewicht des Seiles war 906 kg per laufenden Kilometer in der Luft, 384 kg im Wasser.

An diesem Gewichte participiren

| | | |
|---|---|---|
| das Kupfer mit . . . . | 10·8 | Percent |
| die Guttapercha mit . . | 10·8 | » |
| die Eisenhülle mit . . . | 42·8 | » |
| die Hanfumspinnung mit . | 6·2 | » |
| Asphalt mit . . . . . | 29·4 | » |
| | 100·0 | Percent |

Die absolute Festigkeit des Kabels betrug 749 kg. Ein Kilometer Uferkabel wog 11.200 kg.*) Nach Clark und Sabine's Mittheilungen betrug die Ladungscapacität des Kabels 0·24 Mikrofarad für einen Kilometer, der Kupferwiderstand 1·35 Ohm, der Isolationswiderstand**) über 9000 Megohm***).

Die Legung erfolgte wieder durch den »Great Eastern« unter dem Commando des Capitäns Helpin. Als Chefelektriker fungirte Willoughby Smith, während Canning und James Anderson die mechanischen Verlegungsarbeiten zu leiten hatten. Dieselben begannen mit 21. Juni und waren am 14. Juli glücklich beendet. Im Ganzen waren vier Fehler im Kabel entdeckt worden, deren Beseitigung mit Leichtigkeit gelang.

Ein viertes und fünftes Kabel wurde von der nämlichen Gesellschaft in den Jahren 1873 und 1874 auf der nun schon so vielfach benützten Kabeltrace Valentia—Heart's Content verlegt. Die beiden Kabel waren ebenfalls von der Telegraph-Construction- and Maintenance-Company angefertigt und besassen eine Länge von 3475, beziehungsweise 3403 km.

Mittlerweile war in der »Direct-United-States-Cable-Company« eine mächtige Concurrenzgesellschaft erstanden, welche bei Siemens Brothers in London ein neues Kabel anfertigen liess, und dasselbe zwischen der Ballinskellig-Bai in Irland und der Tor-Bai auf Neufund-

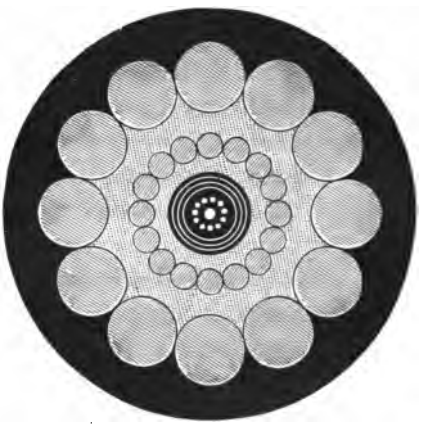
*) Vergl. Zetzsche, Handbuch der Telegraphie. III. Bd.

**) Ueber die Bedeutung der Ausdrücke »Mikrofarad« und Isolationswiderstand findet sich das Nöthige im III. Abschnitte dieses Bandes.

***) 1 Megohm = 1,000.000 Ohm; 1 Ohm ≐ 1·06 Siemens-Einheiten.

land verlegte. Von Neufundland ging die Leitung weiter bis Rye-Beach in New-Hampshire. Die Stärke der Kupferlitze übertraf wieder jene der bisher verlegten um ein Bedeutendes. Die Kabelseele bestand aus einem stärkeren Mitteldrahte, der von 11 schwächeren Kupferdrähten umgeben war. Fig. 37 zeigt den Querschnitt des Küstenkabels.

Fig. 37.



Das Tiefseekabel besass eine Eisenschutzhülle, ähnlich jener, die in Fig. 21 (S. 87) abgebildet ist.

Dazumal bestanden schon zwei, speciell für die Zwecke der Kabellegung bestimmte Schiffe: »Hooper« und »Faraday«, von denen das letztere benützt wurde. Den vorzüglichen Einrichtungen dieses Schiffes war es zu danken, dass die Kabellegung trotz ungünstiger Witterung rasch und sicher bewerkstelligt werden konnte.

Sofort nach der Betriebseröffnung zeigte sich dieses Kabel bedeutend leistungsfähiger als die früher versenkten. Auch seine Haltbarkeit liess nichts zu wünschen übrig.

Als durch einen merkwürdigen Zufall die fünf älteren Kabel gleichzeitig auf kurze Zeit versagten, hatte dieses neue (sechste) Kabel den ganzen Verkehr zwischen Europa und Amerika zu vermitteln und beförderte binnen 24 Stunden gegen 900 Depeschen. O. Henneberg theilt mit, dass der Preis eines Wortes Ende 1880 mit 1·5 Mark berechnet wurde.*)

Diese ausserordentlich günstigen Betriebsergebnisse waren massgebend für den Entschluss der Anglo-American-Company, die neue Linie um jeden Preis zu erwerben, was ihr schliesslich auch unter Anwendung der ihr zu Gebote stehenden ausserordentlichen Mittel wirklich gelang.

Wir begegnen hier einer Erscheinung, die sich in der Entwicklung fast sämmtlicher, ein bestimmtes Gebiet beherrschender Privatgesellschaften, die eines Telegraphennetzes benöthigen, wiederholt. Privat-Telegraphengesellschaften, Kabelcompagnien, in neuester Zeit auch Telephonanstalten, entstehen neben einander, machen sich kurze Zeit Concurrenz, um schliesslich durch Fusionirung zu einem einzigen grossen Körper zusammenzuschmelzen und geradezu ein Monopol zu bilden, dessen Unangreifbarkeit oft genug jener des Staatsmonopols nahekommt.

Nach der Erwerbung des Direct-United-States-Kabel durch die Anglo-American-Company bildete sich eine neue Concurrenzgesellschaft, die Compagnie Française

*) Zetzsche, Handbuch der Telegraphie. III. Bd., S. 258.

de Télégraphe de Paris à New-York. Das Kabel dieser Gesellschaft wurde in der Siemens'schen Kabelfabrik zu New-Charlton bei London angefertigt und im Jahre 1879 glücklich verlegt. Am 21. Jänner 1880 wurde es dem allgemeinen Verkehr zugänglich. Es ist dies die siebente Verbindungslinie zwischen der alten und neuen Welt. Die Hauptlinie führt in einer Länge von 4435 km von Brest (Frankreich) nach St. Pierre (südlich von Neufundland). Von Brest führt eine Anschlusslinie nach England, von St. Pierre eine solche zum amerikanischen Festlande (Massachusetts). Im Ganzen wurden von der Gesellschaft 6800 km Kabel ausgelegt.

Die Kupferlitze des Kabels ist ähnlich jener des »Direct-United-States-Cable« construirt und mit drei Guttaperchalagen umgeben, die durch eine Umspinnung mit getheertem Manilahanf gegen den Druck der Eisenschutzhülle gesichert sind. Die Schutzhülle zeigt jedoch eine von der früheren abweichende Anordnung. Die in Fig. 21 (S. 87) angedeutete Umseilung gibt nämlich leicht Veranlassung zu Schleifenbildungen und gewährt auch keinen genügenden Schutz gegen das Durchrosten der Eisendrähte. Man hat es deshalb vorgezogen, eine Anordnung zu treffen, der wir schon bei den Untergrundkabeln des Deutschen Reiches begegnet sind. Man umgab nämlich die Hanfhülle der Guttapercha-Isolirung mit blanken, dicht aneinanderliegenden Stahldrähten und umwickelt die letzteren mit mehreren Schichten asphaltgetränkter Manilahanfbänder. Diese Decke schützt die Stahldrähte auch nach mehrfachen Durchbiegungen — wie sie beim Aufholen eines Kabels vorkommen — vollständig gegen das Eindringen des

Meerwassers, und ist kräftig genug, um den schädigenden Einwirkungen der Fischanker zu widerstehen.

Das achte transatlantische Kabel wurde im Jahre 1880 durch die Anglo-American-Company versenkt. Es wurde unter Benützung der vom Kabel des Jahres 1866 vorhandenen Uferstrecken durch John Pender gelegt, wobei 3000 km neuen Kabels in Verwendung kamen. Die Verlegung geschah in der kurzen Zeit von nur zwölf Tagen.

Die genannten acht Kabel repräsentiren einen Werth von 150 Millionen Gulden aufgewendeten Capitales. Man darf jedoch nicht vergessen, dass ein nicht unbeträchtlicher Theil dieser Summe von verunglückten Unternehmungen verschlungen wurde. Heutzutage ist man in der Lage, transatlantische Linien zu weit niedrigerem Preise herzustellen, und die grossen Firmen »Telegraph-Constructions- and Maintenance-Company«, Silverton oder Siemens verlangen nur 8—9 Millionen Gulden für eine transatlantische Linie.

Das jüngste grosse Kabelunternehmen ist von den Herren Mackey und Gordon Bennet in New-York ins Leben gerufen worden. Die Unternehmer haben eine Actiengesellschaft gegründet, die den Namen »Commercial Cable Co.« führt und über ein Capital von vier Millionen Dollars verfügt. Im Ganzen wurden 40.000 Actien à 100 Dollars ausgegeben, an denen John W. Mackey mit 20.000, Isaac Bell mit 10.000 und die Herren Castro und Davidson mit je 5000 Stück participiren. Das Kabel soll von New-York nach Neuschottland und Neubraunschweig geführt werden, und von da in mehreren Strängen nach England, Frankreich und Spanien gehen.

Herr de Braam, ein holländischer Ingenieur, beabsichtigt das nach Spanien führende Kabel auf den Azoren zu landen. Somit würde dasselbe in zwei Stücke von 1000 und 1500 km Länge zerfallen, deren Verlegung und Betrieb weit weniger kostete, als jene eines gleich langen ununterbrochenen Kabels. Für die directen Linien ist eine Taxe von 1·25 Francs per Wort in Aussicht genommen, hingegen hofft Braam auf der Linie über die Azoren mit einer Taxe von 50 Centimes seine Rechnung zu finden.*) Es würde dies einer Ermässigung der älteren Taxe auf den zehnten Theil entsprechen.

So wird denn wahrscheinlich die Zahl der nordatlantischen Kabel binnen kurzer Zeit ein volles Dutzend ausmachen und die Gebührentaxe geht allmälig dem nicht zu unterschreitenden Minimum des Selbstkostenpreises entgegen.

Seit 1874 ist auch Südamerika mit Europa in directer telegraphischer Verbindung. Doch genügt für den verhältnissmässig schwachen Verkehr ein einziges Kabel.

Dasselbe führt von Carcavellos bei Lissabon über Madeira und eine der Cap Verde'schen Inseln (St. Vincent) nach Pernambuco in Brasilien. Von Carcavellos läuft noch eine zweite parallele Kabellinie bis Madeira. Die Gesammtlänge der Linie nach Südamerika beträgt 7160 km. Die Theilung dieser gewaltigen Strecke in drei Unterabtheilungen von 1209, 2334 und 3617 km Länge hat den Bau und Betrieb der Linie ausserordentlich erleichtert. Dieselbe diente bis noch vor kurzer Zeit auch zur Verbindung Südamerikas mit den Vereinigten

*) Bulletin de la Compagnie internationale des Téléphones. 1883, pag. 216.

Staaten, da eine directe Verbindung zwischen Nord- und Südamerika noch nicht existirte, so dass die Telegramme den Umweg über Europa nehmen mussten. Es ist zwar die Ost- und Westküste Südamerikas mit einer Reihe von Kabelschleifen eingefasst, doch reichten dieselben an der Ostküste nicht ganz bis Guyana, an der Westküste nur bis zur Insel St. Pedro Gonzales. Erst im Jahre 1882 wurde die letztgenannte Insel mit San Juan del Sur verbunden und die noch vorhandene Lücke ausgefüllt.

Theilweise parallel mit der südamerikanischen Linie läuft das Kabel zwischen Südspanien (Cadix) und Senegambien (St. Louis).

Von Lissabon führt eine Linie nach Nordspanien (Vigo) und weiter bis zum südwestlichen Vorsprung Englands (Falmouth). Ausserdem besteht ein drittes Verbindungskabel zwischen Lissabon und Falmouth, desgleichen zwischen Lissabon und Gibraltar.

## 7. Die Kabelverbindungen nach den englischen Colonien.

England gebührt vor Allem das Verdienst, an der Förderung der Ausbreitung der Kabelnetze den thätigsten Antheil genommen zu haben. Allerdings hat es auch aus diesem grossartigsten Verkehrsmittel der Neuzeit in jeder Hinsicht selbst den bedeutendsten Nutzen gezogen. Die meisten Kabel sind von englischen Gesellschaften angefertigt und verlegt worden.

Man schätzt gegenwärtig die Länge der von englischen Gesellschaften betriebenen Kabel auf mehr denn 130.000 km, und alle diese sind lucrative Anlagen für

fast ausschliesslich englisches Capital. Den grössten Nutzen aber zieht das unermessliche grossbritannische Reich aus der raschen und sicheren Verbindung mit seinen Colonien. Eine Depesche nach Indien ist in 20 Minuten, eine solche nach Hongkong in drei, nach Neuseeland in etwa sechs Stunden an Ort und Stelle!

Das grösste Gewicht legt England naturgemäss auf die Verbindung mit Indien, zu welchem Zwecke die Kabel im Mittelmeer, im Rothen Meer und im Persischen Golf, sowie im Busen von Bengalen hergestellt wurden.

Schon 1859 wurde das erste Kabel im Rothen Meer versenkt. Dasselbe führte von Suez über Kosseir, Suakim, Aden und weiter an der arabischen Küste nach Hallani, Maskat und Kurrachee (westlichste Küstenstation von Hindostan). Die Verlegung dauerte vom 5. Mai 1859 bis 17. Jänner 1860 und wurde von Siemens & Halske geleitet. Das Kabel war von Newall & Co. angefertigt und enthielt 3 mm dicke Kupferlitzen, um welche eine 7·5 mm starke Guttaperchahülle gepresst war. Die Schutzhülle bestand aus Eisendrähten von 5 mm Stärke. Das Kabel besass im Ganzen eine Länge von 5637 km. Es war das erste, während dessen Verlegung fortwährend systematische Prüfungen über den Leitungswiderstand und die Isolationsfähigkeit angestellt wurden. Die erforderlichen Umschaltungen besorgte ein Uhrwerk. Der Betrieb der Leitung geschah durch Wechselströme und es waren polarisirte Empfangsapparate (Farbschreiber) mit Uebertragungsvorrichtungen und Entladungs-Contacten verwendet worden.*)

*) Vergl. Elektrotechnische Bibliothek, 5. Bd., S. 33.

Die Sprechgeschwindigkeit betrug 6—10 Worte in der Minute. Die Dauerhaftigkeit des Kabels war jedoch nicht gross. Einzelne Strecken versagten schon nach kurzer Zeit, andere blieben $1^1/_2$ bis 2 Jahre brauchbar und mussten dann ebenfalls ausser Betrieb gesetzt werden. 1870 wurde eine neue Linie: Suez—Aden (2718 km), Aden—Bombay (3367 km) gelegt, der sich 1876 eine zweite Parallellinie anschloss. Heute sind im Rothen Meer drei Kabellinien versenkt, die von einer Quertrace: Suakim (Egypten)—Djeda (nächst Mekka in Arabien) gekreuzt wird.

1864 versenkte W. T. Henley im Persischen Golf ein 2333 km langes Kabel. Dasselbe hatte eine massive Kupferlitze von 2·8 mm Stärke, die mit 4 Guttaperchalagen von 10 mm Gesammtdicke umgeben war. Die Schutzhülle bestand aus 12 Eisendrähten von 4·5 mm Stärke und besass sammt der Asphaltkruste 40 mm Durchmesser. Die Kabeltrace führt von Fao*) über Buschir, Jask, Gwadur nach Kurrachee. Von Buschir nach Jask besteht noch eine zweite Leitung, welche der britischen Verwaltung gehört.

Für den telegraphischen Verkehr zwischen England und Indien kommen hauptsächlich drei Wege in Betracht:

1. Die Landlinie über Deutschland, Russland und Persien bis zum Persischen Golf (Foa) und von da ab per Kabel nach Indien. Für diese Linie kommt vor Allem die Indo-European-Telegraph-Company in Betracht, welche mit Ermächtigung der betreffenden Regierungen einige Linien von England über Emden (deutsche Küstenstation), Russland und Persien betreibt.

*) Nordwestliches Ende des Persischen Golfes.

2. Die Trace über Constantinopel und Kleinasien zum Persischen Golf und von da weiter wie oben.

3. Die zum grössten Theile strategisch gesicherte Linie über Egypten, das Rothe Meer und den Busen von Bengalen.

Egypten ist sowohl ausschliesslich durch Kabellinien, als auch durch zahlreiche europäische Landlinien zu erreichen. Eine ununterbrochene Kabellinie führt von Falmouth über Lissabon, Gibraltar und Malta.

Ueber Frankreich führt die Trace: London—Marseille—Bona (Algier) — Malta.

Weitere Verbindungen sind folgende:

Italien, Sicilien, Malta;

Otranto (Unteritalien), Zante (Griechenland), Candia;

Kleinasien, Cypern, und schliesslich die Linien über Palästina.

Auch die von der grossen nordischen Telegraphen-Gesellschaft betriebenen Linien, welche über Dänemark, Russland, Sibirien und das Amurgebiet nach Japan führen, stehen durch die in den chinesischen Gewässern verlegten doppelten Kabellinien Wladiwostock—Nangasaki —Shanghai—Hongkong und die Einzelnlinien Hongkong—Saigon (Hinterindien)—Singapore—Penang—Madras mit Britisch-Indien in Verbindung.

Die australischen Colonien Englands sind von Indien aus durch die von Madras über Singapore gelegten Kabel zugänglich. Von Singapore führt ein von der Eastern-Extension-Company 1870 gelegtes, 1037 km langes Kabel nach Java (Batavia) und von dem auf der gleichen Insel gelegenen Orte Banjoewangi nach Port Darwin an der Nordküste von Australien (1871, 2045 km). Eine zweite

Linie wurde 1879 von Penang (Hinterindien) über Malacca und Banjoewangi nach Port Darwin geführt. Die Kupferlitze des Kabels wog 26 kg per Kilometer, die Guttaperchahülle 34 kg. Elf Eisendrähte von 2·4 mm Durchmesser dienten zum Schutze.

Die grosse Landlinie, welche Australien von Norden nach Süden durchzieht, vermittelt die Verbindung zwischen Port Darwin und Sidney. Von letzterem Orte führt ein 2374 km langes Kabel nach Neuseeland (Nelson in der Blind-Bay).

Bei mehreren dieser Kabel verursachte die Herstellung der Uferverbindungen bedeutende Schwierigkeiten und es mussten Vorkehrungen getroffen werden, um die schädigenden Einflüsse der herrschenden hohen Temperatur auf die Guttapercha-Isolirung zu paralysiren. Zu diesem Zwecke wurden die verbindenden Uferleitungen isolirt in mit Wasser gefüllten Röhren verlegt.

In Hongkong musste ein Hügel von 135 m Höhe durch eine derartige Leitung überschritten werden, wobei man, um den Wasserdruck zu vermindern, Zwischenbehälter einschaltete, von denen jeder höher gelegene den nächst tieferen automatisch mit Wasser speiste. Die automatische Regulirung geschah durch Hähne mit Schwimmkugeln.*)

Die jüngste grosse Welt-Verbindungslinie ist jene mit Südafrika. Der Krieg mit den Zulukaffern und die Schlappen, welche England bei der misslungenen Vergewaltigung der transvaalschen Boers erlitt, liessen es sowohl für England, als auch für seine südafrikanischen Colonien immer schmerzlicher empfinden, dass die letzteren

*) Zetzsche, Handbuch der Telegraphie, 3. Bd., S. 264.

dem elektrischen Weltnetze gänzlich entrückt waren. Dies bildete die nächste Veranlassung zur Legung eines Kabels nach dem Caplande. Dasselbe wurde von der Telegraph-Construction- and Maintainance-Company hergestellt und am 30. December 1879 dem Betriebe übergeben. Die Linie besteht aus vier Theilstrecken zwischen Aden, Zanzibar, Mozambique, der Delagoa-Bai und Port Natal und besitzt in Summa eine Länge von 7289 km.

Fig. 38.

Jene Kabelstücke, welche im seichten Wasser liegen, mussten gegen die Angriffe von Seethieren (Teredos, Xylophaga, Limnoria), welche sich zwischen der Eisenhülle durch in die Guttapercha einbohrten, besonders geschützt werden. Man umwickelte dieselben mit dünnen Messingblechstreifen, wie dies in Fig. 38 angedeutet ist.*)

Bei Meerestiefen von mehr als 180 m ist diese Bewicklung überflüssig, da die betreffenden Meeresthiere nur in seichteren Regionen auftreten.

In Centralamerika sind es die Antillen und Britisch-Guyana, welche auf verschiedenen Wegen mit England in telegraphischer Verbindung stehen, während die holländischen und französischen Besitzungen in Guyana noch jeder telegraphischen Verbindung mit den Mutterstaaten entbehren.

*) In ähnlicher Weise sind mehrere Kabel im Mittelmeer und den ostindisch-chinesischen Gewässern geschützt.

## 8. Sonstige bemerkenswerthe Kabelverbindungen.

Neben den grossen transoceanischen Kabellinien hat sich in den letzten 30 Jahren ein vielfach verzweigtes Netz kürzerer Kabellinien entwickelt, das die Küsten sämmtlicher Culturstaaten umsäumt und die Verbindung zu den Inseln herstellt. Auch in den meisten grossen Landseen liegen Kabellinien, welche vortheilhaft die langen, kostspieligen und oft einer Reparatur bedürftigen Uferleitungen ersetzt haben. Als Beispiele nennen wir den Vierwaldstättersee, den Bodensee und das Kaspische Meer.

Militärische Operationen im Innern Asiens liessen es dem russischen Gouvernement wünschenswerth erscheinen, eine telegraphische Verbindung zwischen Baku und Karsnovodsk quer über den Kaspi-See zu besitzen. Die Kabellinie ist nur 272 km lang, während eine, denselben Zweck erfüllende Landleitung mehr als die dreifache Länge erhalten hätte und nur auf persischem Gebiete angelegt werden konnte.

Das Kabel wurde von der Indian-Rubber-Gutta-percha- and Telegraph-Works-Company hergestellt und auf einem grösseren Schiffe nach Kronstadt gebracht. Der Transport von da bis zum Kaspischen Meer war nicht leicht, da die benützbaren Wasserwege nur für Kähne von beschränkten Dimensionen passirbar waren. Das Tau wurde auf fünf Barken verladen; eine sechste diente als Unterkunft für das technische Personale. Zwei Dampfer schleppten die kleine Flottille stromaufwärts durch die Newa, durch den Ladoga-Canal, den Sevir, den Onega-Canal, die Marien-Canäle und den Scheksna in die Wolga

und langten nach 48 Tagen am Bestimmungsorte an. Die durchmessene Weglänge betrug 4268 km. Die Kabellegung selbst wurde in 24 Tagen durchgeführt, und dürfte in ihrer Art ein Unicum sein, insoferne als zur Verlegung eines verhältnissmässig kurzen Kabelstückes ein Zeitaufwand nöthig war, mit welchem man zwei transatlantische Kabel hätte verlegen können.

Auch der Zeitaufwand, welchen der Transport des Kabels an Ort und Stelle gefordert, ist für die russischen Communicationsverhältnisse bezeichnend genug, wenn wir erwägen, dass die Verlegung im Jahre 1880 geschah. Nach O. Henneberg's Angaben betrug die Contractsumme für das Kabel etwa 1·2 Millionen Mark.*)

Eine vorzügliche Uebersicht sämmtlicher Kabellinien der Erde, sowie der wichtigsten Landlinien, gewährt die vom internationalen Telegraphenbureau in Bern veröffentlichte Karte. Dieselbe erscheint von Jahr zu Jahr in neuer Auflage und gibt genauen Aufschluss über sämmtliche neu entstandene Linien.

*) Zetzsche, Handb., III. Bd., S. 266.

## III. Abschnitt.

# Die elektrischen Erscheinungen in Kabeln.

### 1. Die elektrischen Einheiten.

Nach den vom Congress der Elektriker in Paris 1881 gefassten Beschlüssen hat in allen Ländern des Erdkreises das absolute elektromagnetische Mass-System Eingang gefunden. Dasselbe führt sämmtliche elektrische Grössen auf die drei Grundeinheiten: Länge, Masse und Zeit zurück.

Nach W. Thomson's Vorschlag wurden als Grundeinheiten gewählt:

I. Die Längeneinheit = 1 Centimeter = 1 cm
II. Die Masseneinheit = 1 Gramm = 1 gr
III. Die Zeiteinheit = 1 Secunde = 1 sec.

Sämmtliche übrigen physikalischen und speciell elektrischen Einheiten lassen sich auf gewisse Weise mit den drei genannten Grundeinheiten in Zusammenhang bringen.

Entwickeln wir zunächst die für unsere speciellen Zwecke nöthigen mechanischen Einheiten.

Die Einheit der Geschwindigkeit besitzt jener materielle Punkt, welcher bei gleichförmiger Bewegung in der Secunde einen Weg von 1 cm zurücklegt.

Legt ein materieller Punkt, welcher sich gleichförmig bewegt, in $t$ Secunden die Wegstrecke von $s$ cm zurück, so finden wir seine Geschwindigkeit, indem wir die durchmessene Wegstrecke durch die Zeit dividiren. Es ist also die Geschwindigkeit

$$v = \frac{s}{t} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1$$

Sind $s$ und $t$ in Centimetern und Secunden ausgedrückt, so kann man die entsprechenden Vervielfältigungszahlen durch einander dividiren, darf aber nicht auf die Entstehungsweise des Quotienten vergessen. So ist z. B. die Geschwindigkeit eines materiellen Punktes, der in zehn Secunden den Weg von 40 cm zurücklegt:

$$v = \frac{40 \text{ cm}}{10 \text{ sec}} = 4 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}.$$

Durch genaues Festhalten an der Entstehungsweise der Grösse $v$ gelangen wir zum Begriffe ihrer Dimension. Die Geschwindigkeit besitzt die Dimension $\frac{\text{Länge}}{\text{Zeit}}$ und wir können speciell die Gleichung aufstellen:

$$\text{Geschwindigkeitseinheit} = \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \quad \ldots \quad 2$$

Bei einer ungleichförmigen Bewegung verändert sich die Geschwindigkeit fortwährend, und wir müssen für jeden Punkt der durchmessenen Bahn speciell die Geschwindigkeit angeben. Dies gelingt dadurch, dass wir uns die continuirliche, ungleichförmige Bewegung ersetzt denken durch eine discontinuirliche Bewegung, bei welcher der sich bewegende Punkt in den aufeinander folgenden unendlich kleinen Zeiträumen gleichförmige Bewegungen ausführt, deren Geschwindigkeiten sich in den aufeinander

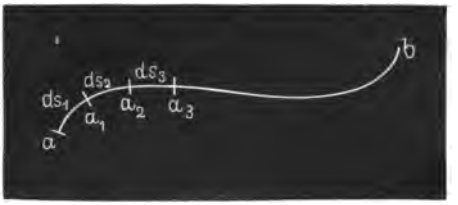
folgenden unendlich kleinen Wegelementen sprungweise ändern.

Nehmen wir an, der Punkt $a$ (Fig. 39) bewege sich in dem unendlichen kleinen Zeitelemente $dt$ von $a$ nach $a_1$, in dem nächstfolgenden gleichen Zeitelemente $dt$ von $a_1$ nach $a_2$, dann von $a_2$ nach $a_3$ u. s. w.

Wir stellen uns nun vor, die Bewegung von $a$ nach $a_1$ erfolge gleichförmig. Ihre Geschwindigkeit wird sein:

$$v_1 = \frac{ds_1}{dt}.$$

Fig. 39.




Ebenso können wir setzen

$$v_2 = \frac{ds_2}{dt} \text{ u. s. w.}$$

Wenn $a\,a_1 < a_1\,a_2$, haben wir zwischen den Punkten $a$ und $a_2$ eine beschleunigte Bewegung. Als Beschleunigung bezeichnen wir den Quotienten

$$\gamma = \frac{v_2 - v_1}{dt} = \frac{ds_2 - ds_1}{dt^2} = \frac{\text{Länge}}{(\text{Zeit})^2}.$$

Für die Einheit der Beschleunigung erhalten wir:

$$\text{Beschleunigungseinheit} = \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}.$$

Die Mechanik lehrt nun, dass jede constante Kraft im Stande ist, eine geradlinige, gleichförmig beschleunigte

Bewegung zu erzeugen, und misst die Kraft durch das Product der bewegten Masse in die erzielte Beschleunigung. Bezeichnen wir die Kraft mit $P$, die bewegte Masse mit $m$, die Beschleunigung mit $\gamma$, so gilt die Gleichung:

$$P = m\gamma \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3$$

Als Krafteinheit bezeichnen wir jene Kraft, welche der Masse eines Gramms die Beschleunigungseinheit $\frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$ verleiht; somit ist die

$$\text{Krafteinheit} = \frac{\text{gr} \times \text{cm}}{\text{sec}^2} \quad . \quad . \quad . \quad 4$$

Man hat dieser absoluten Krafteinheit den Namen Dyne gegeben.

Betrachten wir speciell die Schwerkraft. Dieselbe ist nicht für alle Orte der Erde constant, sondern wächst mit der geographischen Breite und vermindert sich bei wachsender Seehöhe des betreffenden Ortes. Für $45^0$ Breite ist die Beschleunigung der Schwere im Meeresniveau nahezu gleich 981 $\frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$.*) Somit ist die Kraft, mit welcher die Masse eines Gramms auf ihre Unterlage drückt, beiläufig gleich 981 Dynes. Wenn wir das Innere der Erde aushöhlen könnten, so dass von der gesammten Masse derselben nur eine concentrische Kugelschale übrig bliebe, deren Masse $^1/_{981}$ der gesammten Erdmasse ausmacht, so würde diese Hohlkugel

*) Mit grosser Genauigkeit lässt sich die Beschleunigung $g$ der Schwere für eine beliebige geographische Breite $\varphi$ und Seehöhe $H$ (in Metern) aus folgender Formel berechnen:

$g^m = 9{\cdot}8061^m\ (1 - 0{\cdot}00259 \cos 2\varphi)\ (1 - 0{\cdot}000000196\ H)$.

dann wirklich die Masseneinheit (1 gr) mit der absoluten Krafteinheit anziehen*) und eine Fallbewegung veranlassen, deren Beschleunigung 1 cm per Secunde beträgt.

Der 981. Theil eines Gramms ist nur wenig grösser als ein Milligramm, und wir können, um eine klare Vorstellung von der absoluten Krafteinheit (Dyne) zu gewinnen, uns vorstellen, dieselbe sei nahezu gleich dem Drucke eines Milligramms auf seine Unterlage. Als absolute Arbeitseinheit wählen wir jene Arbeit, welche geleistet werden muss, um die absolute Einheit der Kraft auf einer Wegstrecke von 1 cm zu überwinden. Die Dimension derselben ist:

$$\text{Arbeitseinheit} = \frac{\text{gr} \times \text{cm}^2}{\text{sec}^2} \quad . \quad . \quad . \quad 5$$

Die absolute Arbeitseinheit führt den Namen Erg.

Gehen wir nun zu den magnetischen Einheiten über.

Die magnetischen Erscheinungen lassen sich durch die Annahme polar entgegengesetzter magnetischer Massen erklären. Gleichartige magnetische Massen stossen sich ab, ungleichartige ziehen sich an, und zwar mit einer Kraft, die dem Producte der Massen direct. dem Quadrate ihrer Entfernung indirect proportional ist. Bezeichnen wir zwei beliebige gleichartige magnetische Massen mit $\mu$ und $\mu_1$, deren Entfernung mit $r$, so ist die abstossende Kraft zwischen beiden:

$$P = C \frac{\mu \mu_1}{r^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 6$$

*) Eine Kugelschale, deren äussere Oberfläche und mittlere Dichte mit jener der Erde übereinstimmen, und welche einen auf ihrer Oberfläche liegenden Körper von der Masse eines Gramms mit der oben definirten absoluten Krafteinheit anzieht, müsste eine Wanddicke von etwas mehr als 2 km besitzen.

wobei $C$ eine Constante bedeutet, deren Werth von der Wahl der Masseinheiten für $P$, $r$ und die magnetischen Massen abhängt. Messen wir $P$ in Dynes, $r$ in Centimeter, so bleibt uns nur noch die Bestimmung der Einheit für den Magnetismus übrig, und wir bestimmen diese Einheit derart, dass $C = 1$ wird. Dies ist immer möglich. Schreiben wir vorerst Gleichung 6 in der Form:

$$P r^2 = C \mu \mu_1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 7$$

Wenn wir irgend einen speciellen Fall ins Auge fassen, so ist dann das Product auf der linken Seite der Gleichung 7 eine unveränderliche Grösse. Dies muss auch von der rechten Seite dieser Gleichung gelten. Je grösser die Einheit für die magnetische Masse gewählt wird, desto kleiner werden die Masszahlen $\mu$ und $\mu_1$, und somit auch das Product $\mu \mu_1$, desto grösser also die Constante $C$. Umgekehrt können wir durch Wahl einer kleineren Masseinheit für die magnetischen Massen auch eine kleinere Constante $C$ erhalten. Es wird uns also immerhin gelingen, durch entsprechende Wahl der Masseinheit für die magnetischen Massen die Constante $C = 1$ zu erhalten. Dann geht Gleichung 7 über in

$$P r^2 = \mu \mu_1.$$

Wenn wir nun $P$ gleich der absoluten Krafteinheit, $r = 1$ cm setzen und $\mu = \mu_1$ als Einheit der magnetischen Masse betrachten, so ist

$$\mu^2 = \frac{\text{gr} \times \text{cm}^3}{\text{sec}^2};$$

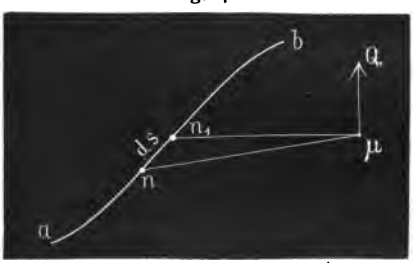
$$\left.\begin{array}{l}\mu = \text{Einheit der magnetischen Masse}\end{array}\right\} = \frac{\text{gr}^{1/2}\ \text{cm}^{3/2}}{\text{sec}} \quad . \quad . \quad . \quad 8$$

Einen unmittelbaren Uebergang zur absoluten elektromagnetischen Stromeinheit erhalten wir durch das aus

Biot's und Savart's Versuchen von Laplace abgeleitete Gesetz über die Fernwirkung des elektrischen Stromes auf magnetische Massen. Wenn in einem Leiter $ab$ (Fig. 40) ein elektrischer Strom von der Intensität $i$ circulirt, so wird durch das Stromelement $n n_1 = ds$ die magnetische Masse $\mu$ mit einer bestimmten Kraft $Q$ beeinflusst, welche auf der durch $ds$ und $\mu$ gelegten Ebene senkrecht steht:

$$Q = C \cdot \frac{\mu \cdot ds \cdot i}{r^2} \cdot \sin(n_1\, n\, \mu) \quad . \quad . \quad . \quad 9$$

Fig. 40.




Dabei ist $r = n\mu$. Die Bedeutung des $\sphericalangle\, n_1\, n\, \mu$ erhellt aus Fig. 40. Wir nehmen nun an, $Q$ sei in Dynes gemessen, $r$ und $ds$ in Centimetern, $\mu$ in absoluten magnetischen Einheiten: $gr^{1/2}\, cm^{3/2}\, sec^{-1}$. $C$ ist eine Constante, deren Grösse nur von der Wahl der Einheit, mit welcher wir die Stromstärke messen, abhängt, und zwar ist die Grösse $C$ der, für die Stromstärke gewählten Masseinheit direct proportional. Wir wählen die letztere nun wieder derart, dass $C = 1$ wird. Man kann dann Gleichung 9 in nachstehende Form bringen:

$$i = \frac{Q r^2}{\mu\, ds \sin(n_1\, n\, \mu)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 10$$

Wenn wir für sämmtliche vorhandene Grössen die entsprechenden absoluten Einheiten einsetzen und berücksichtigen, dass der Sinus eines Winkels eine absolute Zahl ist, so müssen wir $Q$ ersetzen durch:

$$\frac{\text{gr} \cdot \text{cm}}{\text{sec}^2},\ \mu \text{ durch } \frac{\text{gr}^{1/2} \cdot \text{cm}^{3/2}}{\text{sec}};$$

$r$ und $ds$ denken wir uns in cm gemessen. Dann geht der Werth von $i$ in Gleichung 10 in jenen der absoluten Stromeinheit über.

$$\text{Stromeinheit} = \frac{\text{gr}^{1/2}\ \text{cm}^{1/2}}{\text{sec}} \quad . \quad . \quad . \quad 11$$

Diese Stromeinheit ist für praktische Messungen etwas zu gross und entspricht beiläufig dem Strome in einer grösseren elektrischen Bogenlampe. Als praktische Einheit benützt man den zehnten Theil derselben und hat diesen Ampère genannt.

$$1 \text{ Ampère} = \frac{1}{10} \frac{\text{gr}^{1/2}\ \text{cm}^{1/2}}{\text{sec}}.$$

Auf gewöhnlichen oberirdischen Telegraphenleitungen telegraphirt man mit einer Stromstärke von beiläufig 0·003 Ampère, im atlantischen Kabel mit Strömen, deren Intensität bei einer Sprechgeschwindigkeit von 25 Worten in der Minute ein Milliontel Ampère beträgt; doch ist mit einem empfindlichen Galvanometer oder Telephon noch eine Stromstärke von 0·000 000 000 04 Ampère bemerkbar.

Durch Anwendung des Joule'schen Gesetzes gelangen wir zur Definition der absoluten elektrischen Einheit des Widerstandes. Das Joule'sche Gesetz sagt uns: Die in einem Stromkreise entwickelte Wärmemenge

ist dem Quadrate der Stromstärke, dem Leitungswiderstande und der Zeit direct proportional.

Bezeichnen wir:

Mit $J$ die Stromstärke,
» $W$ den Leitungswiderstand,
» $t$ die Zeit,
» $C$ eine Constante,
» $D$ die entwickelte Wärmemenge,

so ist $D = C \,.\, J^2\, W\, t$.

Die Wärmemenge $D$ ist einer bestimmten Arbeitsmenge, die wir mit $A$ bezeichnen wollen, äquivalent und es besteht jedenfalls die Gleichung

$$A = C_1\, J^2\, W t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 12$$

wobei $C_1$ eine andere Constante ist.

Denken wir uns nun die Arbeit $A$ und die Stromstärke $J$ in absoluten Einheiten, die Zeit $t$ in Secunden gemessen, so können wir die Einheit des Widerstandes auch derart wählen, dass $C_1 = 1$ wird. Gleichung 12 lässt sich dann in folgender Art schreiben:

$$A = J^2\, Wt \text{ oder } W = \frac{A}{J^2 t}$$

und wenn wir auf absolute Einheiten übergehen:

$$\text{Widerstandseinheit} =$$

$$= \left(\frac{\text{gr cm}^2}{\text{sec}^2}\right) : \left(\frac{\text{gr}^{1/2}\,\text{cm}^{1/2}}{\text{sec}}\right)^2 \text{sec} = \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

Der Widerstand besitzt also mit der Geschwindigkeit gleiche Dimension.

Die so definirte Widerstandseinheit ist für praktische Zwecke zu klein. Man hat aus derselben durch Multiplication mit $10^9$ eine neue Einheit, das Ohm abgeleitet.

$$1 \text{ Ohm} = 10^9 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} = \frac{\text{Erdquadrant}}{\text{Secunde}}.$$

Die Einheit der elektromotorischen Kraft erhalten wir aus dem Ohm'schen Gesetze. Wir schreiben dasselbe in folgender Form:

Stromintensität × Leitungswiderstand = Constante × elektromotorische Kraft.

Ersetzen wir die beiden Factoren linker Hand durch absolute Einheiten und bestimmen wir die Einheit der elektromotorischen Kraft derart, dass die Constante = 1 wird, so erhalten wir:

Einheit der elektromotorischen Kraft =

$$= \frac{\text{gr}^{1/2}\ \text{cm}^{1/2}}{\text{sec}} \times \frac{\text{cm}}{\text{sec}} = \frac{\text{gr}^{1/2}\ \text{cm}^{3/2}}{\text{sec}^2}.$$

Auch diese Einheit ist für praktische Zwecke zu klein und wir leiten aus ihr durch Multiplication mit $10^8$ eine praktische Einheit ab, die mit dem Namen Volt bezeichnet wird.

$$1 \text{ Volt} = 10^8 \frac{\text{gr}^{1/2}\ \text{cm}^{3/2}}{\text{sec}^2}.$$

Wie man sich leicht überzeugen kann, gilt auch die Gleichung

Ohm × Ampère = Volt.

Aus der praktischen Einheit der Stromstärke ergibt sich jene für die elektrische Masse. Die Einheit der elektrischen Quantität ist gleich der Elektricitätsmenge, welche ein Strom von 1 Ampère in der Secunde liefert, und wurde mit dem Namen Coulomb bezeichnet.

Einer weiteren Einheit bedürfen wir zur Messung des elektrischen Fassungsvermögens, eines Condensators — der Capacität.

Wenn man die eine Belegung einer Leydnerflasche mit der Erde, die andere Belegung mit einer Elektricitätsquelle von bestimmter Spannung in Verbindung bringt, so wird um so mehr Elektricität auf den Belegungen der Leydnerflasche gebunden, je grösser deren Oberfläche und je dünner die isolirende Glasschicht genommen wird.

Ausserdem ist die Quantität der aufgespeicherten Elektricität auch noch von der elektrischen Spannung an der Elektricitätsquelle abhängig. Bezeichnen wir die elektrische Spannung mit $V$, so ist die Elektricitätsmenge

$$M = V \cdot C$$

wobei $C$ eine Constante bedeutet, die von den Dimensionen des verwendeten Condensators abhängt. Diese Constante nennt man Capacität.

Als Einheit derselben bezeichnen wir jene Capacität, welche bei einer elektrischen Spannung von 1 Volt die elektrische Quantität 1 Coulomb aufnimmt, und nennen diese Capacitätseinheit »Farad«.

Dieselbe ist für praktische Zwecke zu gross, und man hat deshalb den millionten Theil derselben unter dem Namen Mikrofarad eingeführt. Die Capacität eines Kabelstückes von 1 km Länge ist beiläufig gleich $^1/_4$ Mikrofarad, jene einer Leydnerflasche mittlerer Grösse nur $^1/_{1000}$ Mikrofarad.

Nachstehende Tabelle gibt eine Uebersicht der wichtigsten absoluten und praktischen, mechanischen und elektromagnetischen Einheiten.

Grundeinheiten:

*a)* Kraft: $\frac{\text{gr} \cdot \text{cm}}{\text{sec}^2}$

*b)* Arbeit: $\frac{\text{gr} \cdot \text{cm}^2}{\text{sec}^2}$

*c)* Magnetische Quantität: $\frac{\text{gr}^{1/2}\ \text{cm}^{3/2}}{\text{sec}}$

*d)* Stromstärke: $\frac{\text{gr}^{1/2}\ \text{cm}^{1/2}}{\text{sec}}$

*e)* Leitungswiderstand: $\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$

*f)* Elektromotorische Kraft: $\frac{\text{gr}^{1/2}\ \text{cm}^{2/2}}{\text{sec}^2}$

*g)* Elektrische Masse: $\text{gr}^{1/2}\ \text{cm}^{1/2}$

*h)* Elektrische Capacität: $\frac{\text{sec}^2}{\text{cm}}$

Abgeleitete Einheiten:

*a)* 1 Kilo $= 981 \times 10^3 \times \frac{\text{gr} \cdot \text{cm}}{\text{sec}^2}$

*b)* 1 Kilogramm-Meter $= 981 \times 10^5 \frac{\text{gr} \cdot \text{cm}^2}{\text{sec}^2}$

*c)* 1 Weber $= 10^8 \times \frac{\text{gr}^{1/2}\ \text{cm}^{3/2}}{\text{sec}}$

*d)* 1 Ampère $= \frac{1}{10} \times \frac{\text{gr}^{1/2}\ \text{cm}^{1/2}}{\text{sec}}$

*e)* 1 Ohm $= 10^9 \times \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$

*f)* 1 Volt $= 10^8 \times \frac{\text{gr}^{1/2}\ \text{cm}^{3/2}}{\text{sec}^2}$

*g)* 1 Coulomb $= \frac{1}{10} \times \text{gr}^{1/2}\ \text{cm}^{1/2}$

$$h) \begin{cases} 1 \text{ Farad} = \dfrac{1}{10^9} \times \dfrac{\sec^2}{\text{cm}} \\ 1 \text{ Mikrofarad} = \dfrac{1}{10^{15}} \times \dfrac{\sec^2}{\text{cm}} \end{cases}$$

## 2. Der Isolationswiderstand.

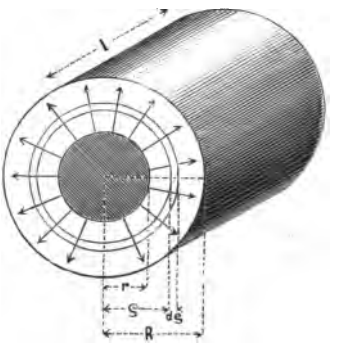
Denken wir uns ein im Wasser liegendes Kabel an dem einen Ende isolirt, an dem zweiten Ende mit dem positiven Pole einer Batterie verbunden, deren negativer Pol zu einem empfindlichen Galvanometer hinführt; die zweite Klemme des letzteren werde ebenfalls mit dem Wasser leitend verbunden.*) Im Momente, wo der Stromkreis geschlossen wird, entsteht ein kräftiger Strom: es ist der Ladungsstrom, durch welchen sich die nach Art eines Condensators wirkende Kabelhülle mit Elektricität sättigt. Sodann folgt ein sehr schwacher Strom, dessen Intensität eine Zeit lang abnimmt, um schliesslich einen constanten Minimalwerth zu erreichen. Es ist dies der eigentliche Isolationsstrom. Derselbe verdankt seine Entstehung dem Umstande, dass die Kabelhülle nicht vollkommen isolirt, sondern immer eine bestimmte, wenn auch sehr geringe Leitungsfähigkeit besitzt. Enthält das Kabel nur eine einzige Litze, so ist der Widerstand, welchen der Strom beim Passiren der Hülle findet, leicht zu berechnen. Der elektrische Strom geht dann vom Leitungsdraht in radialen Richtungen durch die Isolirungsmasse hindurch.

Betrachten wir zunächst ein Kabelstück von der Länge $l$ (Fig. 41). Der Durchmesser des Leitungsdrahtes

*) Vergl. Fig. 1, Seite 9.

sei gleich $2r$, der äussere Durchmesser der Isolirung $2R$. Wir denken uns nun die Kabelhülle in concentrische Hohlcylinder von sehr geringer Wanddicke ($d\varrho$) zerlegt. Der Isolationsstrom ist genöthigt, dieselben der Reihe nach zu passiren. Da die Stromrichtung senkrecht gegen die Mantelflächen der Cylinder verläuft, können wir uns den Widerstand jedes Hohlcylinders ersetzt denken durch jenen einer sehr dünnen rechteckigen Platte, deren Dicke gleich $d\varrho$, deren Länge gleich $l$ und deren Breite gleich dem Umfange des betreffenden Hohlcylinders genommen wird. Wenn wir die Dicke des letzteren ($d\varrho$) unendlich klein annehmen, so besteht zwischen dem äusseren und inneren Umfange desselben kein wesentlicher Unterschied. Bezeichnen wir den variablen Durchmesser eines solchen Cylinders mit $2\varrho$, so ist sein Umfang $= 2\pi\varrho$. Bezeichnen wir ferner den specifischen Leitungswiderstand des Isolationsmateriales mit $s$, so erhalten wir für den Leitungswiderstand der oben erwähnten rechteckigen Platte, welcher mit dem Widerstande eines Hohlcylinders identisch ist, den Ausdruck:

Fig. 41.




$$s\,\frac{\text{Dicke}}{\text{Querschnitt}} = \frac{s\,d\,\varrho}{2\,\pi\,\varrho\,l} \quad \ldots \quad 1$$

Wir müssen nun $\varrho$ der Reihe nach sämmtliche Werthe von $\varrho = r$ bis $\varrho = R$ durchlaufen lassen und die

entsprechenden Widerstände summiren. Dann ergibt sich für den Gesammtwiderstand

$$W = \int_r^R \frac{s\,dr}{2\,\pi\,\varrho\,l} = \frac{s}{2\,\pi\,l} \log \text{nat} \frac{R}{r} \quad . \quad . \quad 2$$

Der Isolationswiderstand ist somit der Länge des Kabels umgekehrt proportional. Hat man denselben gemessen, so ergibt sich der specifische Leitungswiderstand

$$s = \frac{2\,\pi\,l\,W}{\log \text{nat} \frac{R}{r}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3$$

Führen wir in Gleichung 2 an Stelle der Leitungswiderstände $W$ und $s$ das specifische Leitungsvermögen $k = \frac{1}{s}$ und die Leitungsfähigkeit der Isolatorhülle $F = \frac{1}{W}$ ein, so erhalten wir

$$F = k \cdot \frac{2\,\pi\,l}{\log \text{nat} \frac{R}{r}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3a$$

Es gelingt leicht, die Gleichung 2 für Brigg'sche Logarithmen brauchbar zu machen. Misst man $l$ in km, so erhält man nach Fröhlich für Guttapercha den Isolationswiderstand aus der Formel:

$$W = \frac{2500}{l} \log \frac{R}{r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4$$

Dabei ist $W$ in Ohms ausgedrückt.

Die Zahl 2500 ist jedoch nur als eine abgerundete Mittelzahl aufzufassen und gilt für die Temperatur von $15^0$ C.*)

*) Vergl. Seite 38.

Obige Formel ist auch noch annähernd richtig, wenn der einfache Kupferdraht durch eine Litze ersetzt wird; nur muss man dann an Stelle des Drahtdurchmessers $2r$ den Durchmesser $\delta$ eines Kreises setzen, der mit der Kupferlitze gleichen Querschnitt hat.*)

Bei den Unterseekabeln schwankt das Verhältniss $D : d$ zwischen 2 und 4. Bei den Erdkabeln des Deutschen Reiches ist es 2·5. Die Thatsache, dass der Isolationswiderstand durch einen länger dauernden Isolationsstrom vergrössert wird, erinnert an die galvanische Polarisation und dürfte durch das Auftreten einer elektromotorischen Gegenkraft an der Berührungsstelle zwischen Kupfer und Guttapercha zu erklären sein. Wir hätten dann die letztere als einen zersetzbaren Leiter zweiter Ordnung zu betrachten.

Bei der experimentellen Bestimmung des Isolationswiderstandes ist es jedenfalls wünschenswerth, die beiden äussersten Grenzen desselben, nämlich den Widerstand kurz nach dem Vorübergehen des Ladungsstromes, und den Minimalgrenzwerth, der nach längerer Zeit erreicht wird, kennen zu lernen.

Auch wenn das Kabelende nicht isolirt ist, tritt immer neben dem Hauptstrome in der Kabelader der Isolationsstrom in der Kabelhülle auf. Es findet dann in jedem Kabelelemente eine Stromverzweigung statt.

Ein Theil des eintretenden Stromes schreitet in der Kupferader fort; ein anderer Theil geht unter Durchdringung der Kabelhülle ins Meer verloren. Daher kommt es, dass, wenn man in einem Kabel einen constanten

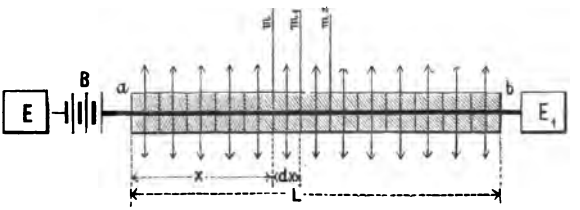
*) Vergl. S. 30; $q + 6\,q' = \frac{\delta^2 \pi}{4}$.

Strom entstehen lässt, die Stromstärke mit wachsender Entfernung von der stromgebenden Batterie abnimmt.

Betrachten wir nun die Stromverhältnisse in quantitativer Hinsicht.

Das Kabel $ab$ (Fig. 42) sei im Wasser versenkt, bei $a$ mit der zur Erde abgeleiteten Batterie $B$, bei $b$ mit der Erde leitend verbunden. $E$ und $E_1$ sind gut leitende Metallplatten (eventuell Drahtgitter), die entweder in feuchter Erde oder im Wasser liegen.

Fig. 42.




Bezeichnen wir nun:

Mit $V_0$ die elektrische Spannung im Punkte $a$;

» $V$ die elektrische Spannung im Kabelquerschnitte $m$;

mit $V + dV$ die elektrische Spannung im nächsten unendlich nahen Kabelquerschnitte $m_1$;

mit $V_1$ die elektrische Spannung im Punkte $b$;

mit $w$ den Leitungswiderstand der Kupferader per Längeneinheit;

mit $W$ den Isolationswiderstand der Hülle per Längeneinheit;

mit $I_0$ die Stromintensität im Punkte $a$;

» $I$ » » » Kabelquerschnitte $m$;

mit $I_1$ die Stromintensität im Kabelende $b$;

» $x$ die variable Entfernung des Kabelquerschnittes $m$ vom Anfangspunkte $a$;

mit $L$ die Gesammtlänge des Kabels;

» $dx$ die Länge eines Kabelelementes zwischen den unendlich nahen Schnitten $m$ und $m_1$.

In das Kabelelement $m\,m_1$ tritt in der Secunde die Elektricitätsmenge $I$ ein. Von dieser fliesst ein Theil durch die Kabelhülle hindurch; der grössere Theil tritt jedoch durch die Schnittfläche $m_1$ in das nächste Kabelelement ein. Nennen wir die Intensität des bei $m_1$ die Kupferader passirenden Stromes $I'$. Dieselbe unterscheidet sich von $I$ um die unendlich kleine Grösse $dI$ und es ist

$$I' - I = dI \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5$$

Bestimmen wir nun die Intensität des Stromes, der die Kabelhülle passirt.

Die elektrische Spannung an der inneren Oberfläche der Kabelhülle ist $V$; die äussere Oberfläche besitzt das Potential 0. Somit ist die Potentialdifferenz gleich $V$.

Wie wir gesehen haben, ist der Isolationswiderstand der Kabellänge verkehrt proportional. Derselbe wird gefunden, wenn man den für die Längeneinheit gegebenen Isolationswiderstand $W$ durch die Länge $dx$ dividirt, und ist gleich

$$\frac{W}{dx}.$$

Gemäss dem Ohm'schen Gesetze erhalten wir für die Intensität $i$ des Isolationsstromes im Kabelstücke $m\,m_1$

$$i = V : \frac{W}{dx} = \frac{V\,dx}{W} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 6$$

Da nun im Kabel ein stationärer Stromzustand vorhanden ist, muss die Menge der per Secunde zuströmenden Elektricität gleich der abfliessenden Menge sein. Somit besteht die Gleichung

$$I = I' + i \quad \ldots\ldots\ 6a$$
$$I' - I = -i,$$

und mit Rücksicht auf die Gl. 5 und 6:

$$dI = -\frac{V dx}{W} \quad \ldots\ldots\ 7$$

Diese Gleichung enthält drei variable Grössen $I$, $V$ und $x$, von denen wir $I$ wegbringen wollen. Nach dem Ohm'schen Gesetze ist

$$I = -\frac{dV}{w dx} \quad \ldots\ldots\ 8$$

wobei der Nenner $w dx$ den Widerstand der Kupferader im Kabelelemente $m m_1$ bedeutet. Durch eine Differentiation erhalten wir:

$$dI = -\frac{1}{w}\left(\frac{d^2 V}{dx^2}\right) dx \quad \ldots\ 9$$

Die letztere Gleichung gibt in Verbindung mit Gl. 7

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = \frac{w}{W} V = \beta^2 V \quad \ldots\ 10$$

wobei der Kürze wegen $w : W = \beta^2$ gesetzt wurde.*) Die allgemeine Lösung dieser Gleichung lautet:

$$V = A e^{\beta x} + B e^{-\beta x} \quad \ldots\ 11$$

wobei $A$ und $B$ noch zu bestimmende Constanten sind.

*) Durch eine ganz ähnliche Differentialgleichung ist auch die Bewegung der Wärme in einem prismatischen Stabe bestimmt; nur hat man an Stelle der elektrischen Spannung $V$ die Temperatur zu setzen.

Für $x = 0$ ist $V = V_0$; für $x = L$ ist $V = V_1$. Es gelten also speciell die beiden Gleichungen

$$V_0 = A + B,$$

$$V_1 = A e^{\beta L} + A e^{-\beta L}.$$

Aus diesen erhalten wir die Constanten $A$ und $B$:

$$A = \frac{V_1 - V_0 e^{-\beta L}}{e^{\beta L} - e^{-\beta L}}; \quad B = -\frac{V_1 - V_0 e^{\beta L}}{e^{\beta L} - e^{-\beta L}}.$$

Durch Substitution dieser Werthe in Gl. 11 ergibt sich schliesslich:

$$V = \frac{V_1 \left(e^{\beta x} - e^{-\beta x}\right) + V_0 \left(e^{\beta (L-x)} - e^{-\beta (L-x)}\right)}{e^{\beta L} - e^{-\beta L}} \quad 12$$

Durch diesen Ausdruck ist die elektrische Spannung für jeden Punkt des Kabels gegeben. Dabei ist $\beta = \sqrt{w : W}$.

Nach Gl. 8 ergibt sich die Stromintensität:

$$I = \frac{V_0 \left(e^{\beta (L-x)} + e^{-\beta (L-x)}\right) - V_1 \left(e^{\beta x} + e^{-\beta x}\right)}{\left(e^{\beta L} - e^{-\beta L}\right) \sqrt{w W}} \quad 13$$

Für $x = 0$ und $x = L$ erhalten wir nachstehende Intensitäten:

$$\left.\begin{aligned} I_0 &= \frac{V_0 \left(e^{\beta L} + e^{-\beta L}\right) - 2 V_1}{\left(e^{\beta L} - e^{-\beta L}\right) \sqrt{w W}}; \\ I_1 &= \frac{2 V_0 - V_1 \left(e^{\beta L} + e^{-\beta L}\right)}{\left(e^{\beta L} - e^{-\beta L}\right) \sqrt{w W}} \end{aligned}\right\} \quad 14$$

Wird das Kabelende $b$ unmittelbar zur Erde abgeleitet, so ist $V_1 = 0$. Wir erhalten dann:

$$V = V_0 \frac{e^{\beta(L-x)} - e^{-\beta(L-x)}}{e^{\beta L} - e^{-\beta L}} \quad . \quad . \quad . \quad 15$$

$$I = \frac{V_0}{\sqrt{w\,W}} \cdot \frac{e^{\beta(L-x)} + e^{-\beta(L-x)}}{e^{\beta L} - e^{-\beta L}} \quad . \quad 15\,a$$

$$I_0 = \frac{V_0}{\sqrt{w\,W}} \cdot \frac{e^{\beta L} + e^{-\beta L}}{e^{\beta L} - e^{-\beta L}};$$

$$I_1 = \frac{2\,V_0}{\sqrt{w\,W}\left(e^{\beta L} - e^{-\beta L}\right)} \quad . \quad . \quad . \quad 16$$

Fig. 43.

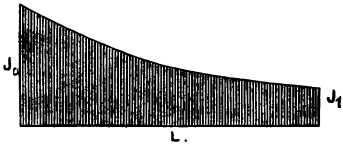
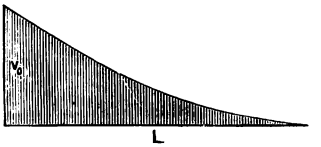



Fig. 44.




In Fig. 43 ist der Kupferwiderstand als Abscisse, die Stromintensität $I$ (Gl. 15 a) als Ordinate aufgetragen. In ähnlicher Art versinnlicht Fig. 44 graphisch die Veränderung der elektrischen Spannung $V$ (Gl. 15).

Wird das eine Kabelende isolirt (Anordnung in Fig. 1, S. 9), so müssen wir $I_1$ gleich Null setzen. Dann ergibt sich aus der zweiten Gl. 14:

$$V_1 = \frac{2\,V_0}{e^{\beta L} + e^{-\beta L}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 17$$

Gleichung 17 zeigt, dass es leicht möglich ist, aus zwei Spannungsmessungen den Isolationswiderstand der Kabelhülle zu berechnen. Bestimmt man mittelst eines

empfindlichen Elektrometers*) die Potentiale $V_0$ und $V_1$ und kennt man ausserdem die Länge $L$ und den Kupferwiderstand $w$, so enthält die Gl. 17 dann nur mehr eine Unbekannte, den Isolationswiderstand $W$. Substituirt man den Werth $V_1$ aus Gl. 17 in die erste der Gl. 14, so findet man

$$I_0 = \frac{V_0}{\sqrt{w\,W}} \cdot \frac{e^{\beta L} - e^{-\beta L}}{e^{\beta L} + e^{-\beta L}} \quad . \quad . \quad . \quad 18$$

In praktischen Fällen ist $\beta$ eine sehr kleine Grösse. Für das atlantische Kabel vom Jahre 1869 ist $w = 1{\cdot}63$; $W = 9630{,}000.000$ Siemens-Einheiten per Kilometer. Somit ist $\beta$ in diesem Falle $\frac{1}{76.000}$.

Entwickeln wir die $e$-Potenzen in Gl. 18 nach der Formel:

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{1\,.\,2} + \frac{x^3}{1\,.\,2\,.\,3} + \frac{x^4}{1\,.\,2\,.\,3\,.\,4} + \cdots$$

so erhält Gl. 18 folgende Gestalt:

$$I_0 = \frac{V_0 L}{W} \cdot \frac{1 + \frac{\beta^2 L^2}{1\,.\,2\,.\,3} + \frac{\beta^4 L^4}{1\,.\,2\,.\,3\,.\,4\,.\,5} + \cdots}{1 + \frac{\beta^2 L^2}{1\,.\,2} + \frac{\beta^4 L^4}{1\,.\,2\,.\,3\,.\,4} + \cdots} \quad . \quad 19$$

Aus dieser Gleichung kann man nun praktisch brauchbare einfache Näherungsformeln ableiten. Für kleine Kabellängen kann man schon die zweiten Potenzen von $\beta$ vernachlässigen, und erhält dann

$$I_0 = \frac{V_0 L}{W} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 20$$

*) Am besten dient ein Thomson'sches Quadrantelektrometer. Vergl. Elektrotechnische Bibliothek, Bd. VIII.

Aus dieser Gleichung ergibt sich der Isolationswiderstand:

$$W = \frac{V_0 L}{I_0} \quad \ldots \ldots \quad 21$$

Bei der Bestimmung des Isolationswiderstandes einer fertigen Kabelrolle, sagen wir beispielsweise von 1 km Länge, misst man unter Beibehaltung der Anordnung in Fig. 1 die Stromstärke $I_0$. Wendet man eine Batterie von bekannter elektromotorischer Kraft an (z. B. 100 Daniellelemente), so kann man $V_0$ näherungsweise gleich der elektromotorischen Kraft der Batterie annehmen. Ist die beobachtete Stromstärke z. B. 0·0001 Milliampère*), so finden wir:

$$W = \frac{100 \times 1}{0{\cdot}000\,000\,1} = 1\,000\,000\,000 \text{ Ohm.}$$

Die experimentell gefundene Grösse des Isolationswiderstandes darf sich von jener, die man mit Hilfe der Gl. 4, S. 150 bestimmt, nicht wesentlich unterscheiden. Ergibt die Probe für $W$ einen zu geringen Werth, was man schon während des Experimentirens an dem zu grossen Ausschlage des Galvanometers sieht, so weist dies auf das Vorhandensein eines Isolationsfehlers hin, der aufgesucht und ausgebessert werden muss. An Kabeln mit einfacher Isolatorhülle kommen derartige Fehler weit öfter vor, als an solchen mit mehreren concentrischen Guttaperchahüllen, da im letzteren Falle meist die eine Hülle den Fehler der andern überdeckt und es nur sehr selten zutrifft, dass alle drei oder vier Hüllen an ein und derselben Stelle schadhaft sind.

*) Zur Messung so schwacher Ströme dient ein empfindliches Spiegelgalvanometer.

Berücksichtigt man in Gl. 19 noch die zweite Potenz von $\beta$ und vernachlässigt nur die vierten und höheren Potenzen dieser kleinen Grösse, so ergibt sich die für alle Zwecke der Praxis genügend genaue Näherungsformel:

$$I_0 = \frac{V_0 \cdot L}{W} \cdot \frac{6W + wL^2}{6W + 3wL^2}$$

aus welcher sich ebenfalls $W$ mit Leichtigkeit bestimmen lässt. Die Messung wird immer zweimal ausgeführt, indem man zuerst den positiven Strom von der Batterie zum Kabel übergehen lässt und beim zweiten Versuche mit umgekehrter Stromrichtung arbeitet, oder — wie man zu sagen pflegt — indem man bei der ersten Operation den Kupferpol, bei der zweiten den Zinkpol an das Kabel legt. Vor Beginn des Versuches muss das Kabel vollständig entladen sein, zu welchem Zwecke man dasselbe längere Zeit mit der Erde leitend verbindet; dieselbe Vorsichtsmassregel muss zwischen der ersten und zweiten Operation beobachtet werden. Die Vergleichung beider Messungsresultate gibt sofort Aufschluss, ob das Kabel intact ist oder nicht. Es hat sich nämlich gezeigt, dass bei einem vollständig isolirten Kabel die Messungsresultate bei Anwendung des Kupfer- oder Zinkpols nur um die unvermeidlichen Beobachtungsfehler von einander abweichen, während der geringste Isolationsfehler sich dadurch kundgibt, dass bei der Messung mit dem Zinkpol (Stromrichtung vom Kabel zur Batterie) ein grösserer Isolationswiderstand gefunden wird, als bei Anwendung des Kupferpoles. Jeder Fehler in der Kabelhülle tritt zuerst als ein sehr feiner Riss oder Canal auf, der sich mit Wasser füllt. Dieses wird durch den Isolationsstrom elektrolysirt. Dabei entwickelt sich, wenn

der Strom vom Kabel in die umgebende Flüssigkeit übergeht, an der Kabelseele Sauerstoff, bei umgekehrter Stromrichtung Wasserstoff. Doch ist die Quantität des freien Wasserstoffgases unter sonst gleichen Umständen mehr als doppelt so gross, als jene des Sauerstoffes, da erstens auf ein Atom ausgeschiedenen Sauerstoffes zwei Atome Wasserstoff kommen, und zweitens der Sauerstoff stärker von der Flüssigkeit absorbirt wird als Wasserstoff. Ein Theil des Sauerstoffes dient ausserdem zur Bildung von Wasserstoffhyperoxyd, ein anderer Theil wird zur Oxydation der kupfernen Kabellitzen verbraucht. Die ausgeschiedenen Gase legen sich in Form von Blasen an die metallene Kabelader an und der Isolationsstrom kann nur durch die sehr dünne Flüssigkeitshülle, welche zwischen den Gasblasen und der Guttapercha an den Wänden des Canals haftet, hindurchströmen.

Je länger die Blase ist, oder je mehr Blasen sich aneinander reihen, desto grösser wird auch der Leitungswiderstand der dünnen (nahezu hohlcylindrischen) Flüssigkeitssäule sein.

Es ist nun leicht einzusehen, dass der Isolationswiderstand an der fehlerhaften Stelle beim Vorhandensein einer längeren Wasserstoffblase grösser sein wird, als der Widerstand, welchen der Strom beim Umgehen einer kürzeren Sauerstoffblase zu überwinden hat.

Ist einmal ein Isolationsfehler vorhanden, so wächst derselbe durch die Expansivkraft der elektrolytisch ausgeschiedenen Gase fortwährend, und zwar um so rascher, je stärkere Ströme man anwendet. Zur Schonung des Kabels arbeitet man deshalb in der Praxis mit ausserordentlich schwachen Strömen.

Wird ein versenktes Kabel schadhaft, so muss es gehoben und ausgebessert werden. Dabei ist es von hohem Werthe, möglichst genau die Lage der fehlerhaften Stelle voraus zu berechnen. Dies gelingt jedoch nur, wenn der Isolationsfehler schon eine gewisse Grösse erreicht hat. Man kann aber einen vorhandenen Fehler durch einen länger andauernden Zinkstrom (Kabel —⊱ Batterie) so weit vergrössern, bis die Ortsbestimmung desselben mit Sicherheit möglich ist.*)

Eine interessante Anwendung der elektrolysirenden Wirkungen des Isolationsstromes hat Hipp an einem durch den Vierwaldstättersee führenden Kabel (Bauen—Fluelen) gemacht.

Dasselbe zeigte schon nach wenigen Monaten, so bedeutende Isolationsfehler, dass mehr als die Hälfte der Stromintensität verloren ging. Die Guttapercha war nämlich spröde und hatte zahlreiche Risse bekommen. Ein Aufnehmen des Taues war unmöglich, da sich dasselbe tief in den Schlamm eingewühlt hatte. Hipp liess nun einen kräftigen Strom, der von einer Batterie von 72 Elementen erzeugt wurde, durch das Kabel gehen und zwar derart, dass die positive Elektricität von der Batterie zum Kabel strömte. Dabei bildete sich an der Kabelseele Sauerstoff, der das Metall oxydirte und so eine sich allmälig verdickende Isolirhülle aus Kupferoxyd erzeugte. Der erste Tag brachte keine merklichen Erfolge. Doch während des zweiten Tages sank der Stromverlust schon merklich und war nach drei Tagen schon so gering,

*) Ueber die Methoden der Fehlerbestimmung in Kabeln vergl. Elektrotechnische Bibliothek XVI. Bd.; Kempe, elektrische Messkunde; Uppenborn, Kalender für Elektrotechniker.

dass der regelmässige Depeschendienst wieder aufgenommen werden konnte.

### 3. Die Ladungserscheinungen.

Das Auftreten von Ladungsströmen wurde — wie schon früher bemerkt — zuerst von Kramer und Siemens beobachtet. Sir Ch. Wheatstone, Faraday und Varley haben dieselben zum Gegenstande eingehender Untersuchungen gemacht. Faraday versenkte eine mit Guttapercha isolirte Kupferader von 100 engl. Meilen Länge ins Wasser und führte die beiden Enden derselben in das Beobachtungszimmer. Wenn nun der eine Pol einer Batterie von 360 Plattenpaaren für kurze Zeit mit dem einen Ende des Kabels in Berührung gebracht wurde, während das andere Ende isolirt war, so erhielt der Beobachter bei gleichzeitiger Berührung des Kabelendes mit der einen, der Erdleitung mit der andern Hand, einen heftigen Schlag. Durch mehrere, kurz auf einander folgende Berührungen konnte eine Reihe von Schlägen abnehmender Stärke erhalten werden. Ein zweiter in der Luft gespannter Leitungsdraht, dessen Länge ebenfalls 100 Meilen betrug, zeigte keinerlei Erscheinungen dieser Art. Das Kabel bildete demnach einen mächtigen Condensator, dessen Capacität dem elektrischen Fassungsvermögen einer Batterie aus vielen tausend Leydnerflaschen gleichkam.

Aehnliche Resultate erhielt Faraday mit einer aus mehreren Erdkabeln combinirten Leitung von 720 Meilen Länge. Für die Ladungscapacität eines Kabels hat Siemens folgende Formel aufgestellt:

$$C = d \frac{2 \pi l}{\log \text{nat} . \frac{R}{r}} \quad \ldots \ldots \quad 1$$

In dieser Formel bedeutet $C$ die Capacität, $d$ eine von der materiellen Beschaffenheit des Isolirungsmateriales abhängige Constante (Dielektricitätsconstante), die Bedeutung von $R$, $r$, $l$, erhellt aus Fig. 41, S. 149. Setzt man die Dielektricitätsconstante für Luft gleich 1, so findet man*) für:

| | |
|---|---|
| Ebonit | 2·284 |
| Guttapercha | 2·462 |
| Chatterton's Mischung | 2·547 |
| Schwarzen Kautschuk | 2·220 |
| Vulcanisirten Kautschuk | 2·497 |
| Schwefel | 2·580 |
| Schellack | 2·740 |
| Paraffin | 1·994 |
| Dichtes Flintglas | 3·054 |
| Leichtes Flintglas | 3·013 |
| Hartes Crownglas | 3·108 |
| Gewöhnliches Glas | 3·243 |

Die physikalische Bedeutung der Dielektricitätsconstante wollen wir durch ein Beispiel klar machen.

Zwei von einander isolirte parallele Metallplatten gleicher Grösse, zwischen denen sich Luft befindet, bilden einen Condensator. Füllen wir den Raum zwischen beiden Platten durch eine Flintglastafel aus, so steigt die Capacität des Condensators auf das Dreifache. Bringt man an Stelle der Glastafel eine Ebonitplatte (deren Dielektricitätsconstante = 2·284), so ist dann die Ladungscapacität des

*) Uppenborn, Kalender für Elektrotechniker, 1884.

Condensators 2·284 Mal grösser, als jene eines Luftcondensators von gleicher Gestalt.

Gleichung 1 (S. 163) zeigt eine merkwürdige Analogie mit der für die Leitungsfähigkeit der Isolationshülle aufgestellten Formel 3a auf S. 150 und geht aus dieser hervor, wenn man an Stelle der specifischen Leitungsfähigkeit die Dielektricitäts- oder Inductionsconstante $d$ setzt.

Bezeichnen wir mit $V$ die elektromotorische Kraft der Batterie, so ist die Elektricitätsmenge, welche ein einseitig isolirtes Kabel durch Ladung mit dieser Batterie erhält

$$M = V d \frac{2 \pi l}{\lg \text{nat} \frac{R}{r}} \quad \ldots \ldots \quad 2$$

Die Ladung sowohl als auch die Entladung braucht eine gewisse Zeit, welche dem Leitungswiderstande des Kabels und seiner Capacität direct proportional ist. Da aber diese beiden Grössen der Kabellänge proportional sind, so ist die Ladungszeit bei Vergleichung verschieden langer Kabelstücke gleichen Querschnittes dem Quadrate der Kabellänge direct proportional. Wir können den Ladungsstrom mit einem Luftstrom vergleichen, der durch eine enge Oeffnung in ein evacuirtes Gefäss eindringt. Im ersten Moment ist derselbe sehr heftig und nimmt allmälig in dem Masse, als sich das Gefäss mit Luft füllt, an Stärke ab. Besteht nach einiger Zeit zwischen der Spannung der Luft im Gefässe und dem äusseren Luftdrucke nur mehr ein geringer Unterschied, so erfolgt auch das Einströmen der Luft nur sehr langsam, um jedoch erst nach — theoretisch genommen — unendlich langer Zeit vollständig aufzuhören. Dabei ist

die Quantität der in das Gefäss strömenden Luft dem Volumen des Gefässes und dem äusseren Luftdrucke proportional. Die Geschwindigkeit des Einströmens hängt von der Weite der Oeffnung im Gefässe ab. Beim Passiren der Oeffnung erleidet die Luft einen gewissen Reibungswiderstand, welcher der Bewegung verzögernd entgegentritt.

Um auf den analogen Vorgang bei der Ladung eines Kabels überzugehen, brauchen wir nur an Stelle des Luftdruckes die elektrische Spannung, an Stelle des Gefässvolumens die Capacität des Condensators zu setzen. Der Reibungswiderstand an der Einströmungsöffnung wird durch den Leitungswiderstand der Kabelader und der zur Batterie führenden Leitungsdrähte ersetzt. Wird das Kabel durch Anlegen an die Erde entladen, so können wir diesen Vorgang mit jenem vergleichen, der stattfindet, wenn man ein mit Luft gefülltes Gefäss in einen luftleeren Raum bringt. Die Luft strömt aus, zuerst rasch, dann immer langsamer und langsamer. Eine vollständige Entleerung tritt erst nach unendlich langer Zeit ein.*) Ebenso muss man ein Kabel, das keine mit den feinsten Messinstrumenten nachweisbare Elektricitätsmenge enthalten soll, mindestens eine Stunde lang an Erde legen, und kann es erst dann praktisch genau als entladen bezeichnen.

Betrachten wir nun quantitativ die Stromverhältnisse bei der Entladung eines Condensators.

---

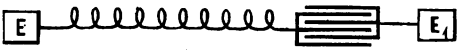
*) Es ist jedoch zu bemerken, dass schon nach einer bestimmten, keineswegs unendlich grossen Zeit eine so vollständige Entleerung des Gefässes eintritt, dass wir auch mit den feinsten uns zu Gebote stehenden Mitteln das Vorhandensein von Lufttheilchen nicht mehr nachweisen können, so dass das Gefäss praktisch genau für entleert gelten kann.

Fig. 45 zeigt den Querschnitt eines Blättercondensators in schematischer Anordnung. Beide Belegungen desselben sind mit den Erdplatten $E$ und $E_1$ leitend verbunden. Zur Erdplatte $E$ führt ein Leitungsdraht von bedeutendem Widerstande $(W)$. Wir denken uns zuerst den Widerstand $W$ entfernt und laden den Condensator durch eine Elektricitätsquelle vom Potential $V_0$. Bezeichnen wir mit $C$ die Capacität des Condensators, so ist die Ladung desselben

$$M_0 = V_0 C.$$

Stellen wir nun die Verbindung mit der Erdplatte $E$ wieder her, so entladet sich der Condensator und es

Fig. 45.




entsteht im Widerstande $W$ ein Strom von rasch abnehmender Intensität. Die anfängliche Intensität desselben ist nach dem Ohm'schen Gesetze

$$I_0 = \frac{V_0}{W} \quad \ldots\ldots\ 3$$

In dem Masse, als Elektricität aus dem Condensator abströmt, vermindert sich seine Ladung und die Spannung der aufgespeicherten Elektricitätsmenge. Nach einiger Zeit ist das Potential auf $V < V_0$ herabgesunken, und der Condensator enthält nur mehr die Elektricitätsmenge $M = V C < M_0$. Die Stromintensität ist dann

$$I = \frac{V}{W} \quad \ldots\ldots\ 4$$

Wenn wir die Zeit $t$ als unabhängige Veränderliche betrachten, so lassen sich $I$, $V$ und $M$ als Functionen

derselben darstellen. Im Zeitelemente $dt$ strömt die Elektricitätsmenge $dM = I\,dt$ ab. Nach $t$ Secunden ist der gesammte Elektricitätsverlust

$$\int_0^t I\,dt = M_0 - M = (V_0 - V)\,C.$$

Wenn wir nach $t$ differenziren und Gleichung 4 berücksichtigen, ergibt sich

$$I = -C\frac{dV}{dt} = \frac{V}{W} \quad \ldots \quad 5$$

$$-\frac{dV}{V} = -\frac{dt}{CW}; \qquad \int_{V=V_0}^{V=V}\frac{dV}{V} = \int_{t=o}^{t=t}\frac{dt}{CW}$$

$$\log \text{nat}\,\frac{V}{V_0} = -\frac{t}{CW}; \qquad V = V_0\,e^{-\frac{t}{CW}} \quad 6$$

Aus Gleichung 5 folgt:

$$I = I_0\,e^{-\frac{t}{CW}} \quad \ldots \quad 7$$

Die Gleichungen 6 und 7 sagen uns, dass die elektrische Spannung und die Stromstärke in geometrischer Progression abnehmen, wenn die Zeit in arithmetischer Progression wächst.

Setzen wir beispielsweise $C = 1$ Mikrofarad, $W = 1$ Megohm, $V_0 = 100$ Volt, so ist $V$ nach der ersten Secunde 36·8 Volt, nach der zweiten Secunde 13·5 Volt, nach der dritten Secunde 5·0 Volt, nach zehn Secunden 0·0045 Volt. Die Spannung nach einer Minute ist so gering, dass wir, um dieselbe in Volt auszudrücken, einen Decimalbruch mit 25 Nullen vor der ersten bedeutenden Ziffer schreiben müssten. In diesem speciellen Falle kann man also unbedingt schon nach einer Minute den Condensator als vollkommen entladen betrachten. Die an-

fängliche Stärke des Entladungsstromes ist 0·1 Milliampère. Nach 1, 2, 3 Secunden beträgt dieselbe nur mehr 0·0368, 0·0135 und 0·0005 Milliampère, und ist nach einer Minute ebenfalls unmerklich.

In ganz ähnlicher Weise verläuft der Ladungs- und Entladungsstrom in einem einseitig isolirten Kabel.

### 4. Die Thomson'schen Curven.

Wir haben in den vorhergehenden Capiteln die Erscheinungen des Isolations- und Ladungsstromes getrennt von einander betrachtet. Beim praktischen Kabelbetrieb treten dieselben jedoch zumeist gemeinschaftlich auf.

Die Elektricitätsbewegung im Kabel kann mit jener einer Luftsäule verglichen werden, die in einer porösen Röhre eingeschlossen ist. Wir stellen hier die correspondirenden Erscheinungen nebeneinander:

| | |
|---|---|
| Das Kabelende wird mit der Batterie verbunden und es strömt nun Elektricität in dasselbe ein. | Die poröse Röhre wird mit einem Reservoir verbunden, aus welchem comprimirte Luft in die Röhre überströmt. |
| Von der einströmenden Elektricität erreicht ein Theil das andere Kabelende, ein Theil strömt durch die Isolirhülle, ein dritter Antheil wird in der Kabelhülle gebunden. | Von der einströmenden Luft passirt ein Theil die ganze Röhre, ein Theil strömt durch die poröse Wand ab, ein dritter Antheil wird von der porösen Wand aufgesogen und festgehalten. |

Verbindet man das Kabelende nur auf kurze Zeit mit einer Batterie, so entsteht an der Eintrittsstelle des Stromes ein elektrischer Spannungszustand, der sich nach Art einer Welle über das ganze Kabel fortpflanzt und in sehr geschwächtem Zustande am Ende desselben ankommt.

Verbindet man die Röhre nur kurze Zeit mit einem Reservoir, welches comprimirte Luft enthält, so entsteht am Rohranfange eine Luftverdichtung, die nach Art einer Schallwelle die Röhre passirt und in sehr geschwächtem Zustande das Ende derselben erreicht.

Die Erscheinungen der elektrischen Welle sind für die Theorien des Kabelbetriebes von besonderem Interesse, und wir werden später Gelegenheit haben uns mit denselben zu befassen.

Untersuchen wir zunächst die Stromverhältnisse vom Momente des Stromschlusses bis zum Eintritte des Beharrungszustandes, wobei wir die auf Seite 152 und 153 gegebenen Bezeichnungen beibehalten. Nennen wir das Zeitelement $dt$, so können wir Gleichung 6 a, S. 154, folgendermassen umgestalten:

$$I\,dt = I'\,dt + i\,dt.$$

Diese Gleichung ist richtig, wenn der stationäre Zustand schon eingetreten und die Kabelhülle vollständig geladen ist. Im Anfange ist dies aber nicht der Fall und wir müssen noch ein Glied hinzufügen, das die zur Ladung der Kabelhülle in der Zeit $dt$ nöthige Elektricitätsmenge ausdrückt.

Nennen wir $C$ die Capacität der Längeneinheit des Kabels, $\left(-\frac{dV}{dt}\right)\,dt$ die Zunahme der elektrischen Span-

nung in der Zeit $dt$, so nimmt das Kabelelement $m m_1$ (Fig. 42, S. 152) in dieser Zeit die Elektricitätsmenge

$$C \left[\frac{dV}{dt}\right] dx\, dt \text{ auf. Dann ist}$$

$$Idt = I'dt + idt + C \left[\frac{dV}{dt}\right] dx\, dt$$

oder mit Rücksicht auf Gl. 5 und 6, S. 153

$$o = dI \,.\, dt + \frac{V}{W} dx\, dt + C \left[\frac{dV}{dt}\right] dx\, dt.$$

Aus Gleichung 9, S. 154, folgt:

$$o = -\frac{1}{w} \left[\frac{d^2 V}{d^2 x}\right] dx\, dt + \frac{V}{w} dx\, dt + C \left[\frac{dV}{dt}\right] dx\, dt$$

und wenn man die ganze Gleichung mit $w$ multiplicirt und $\beta$ einführt:

$$Cw \left[\frac{dV}{dt}\right] = \left[\frac{d^2 V}{dx^2}\right] - \beta^2 V \quad . \quad . \quad . \quad 1$$

Das vollständige Integral dieser Differentialgleichung lautet:

$$\frac{V}{V_0} = \frac{e^{(L-x)\beta} - e^{-(L-x)\beta}}{e^{L\beta} - e^{-L\beta}} -$$

$$- 2e^{-\frac{t}{CW}} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n\pi} \cdot \frac{\sin \frac{n\pi x}{L}}{1 + \frac{\beta^2 L^2}{n^2 \pi^2}} e^{-\frac{n^2 \pi^2 t}{wCL^2}} \quad . \quad . \quad 2$$

Dabei ist $V = 0$ für $x = L$ und $\left[\frac{dV}{dt}\right] = 0$, für $t = \infty$.

Aus Gl. 8, S. 154, erhält man für die Stromintensität folgenden Ausdruck:

$$I = \frac{V_0}{w} \frac{e^{(L-x)\beta} + e^{-(L-x)\beta}}{e^{L\beta} - e^{-L\beta}} \cdot \beta +$$

$$+ \frac{2V_0}{Lw} \cdot e^{-\frac{t}{CW}} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\cos \frac{n\pi x}{L}}{1 + \left(\frac{\beta^2 L^2}{n^2 \pi^2}\right)} e^{-\frac{n^2 \pi^2 t}{w C L^2}} \quad . \quad . \quad 3$$

Für $x = L$ erhalten wir die Stromintensität am Kabelende

$$I_1 = \frac{2V_0}{w} \cdot \frac{\beta}{e^{L\beta} + e^{-L\beta}} +$$

$$+ \frac{2V_0}{w} \cdot \frac{e^{-\frac{t}{CW}}}{L} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{(-1)^n e^{-\frac{n^2 \pi^2 t}{w C L^2}}}{1 + \frac{\beta^2 L^2}{n^2 \pi^2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4$$

Es ist dies die Stromstärke, welche im Empfangsapparate der Kabelstation auftritt.

Wie wir gesehen haben, ist $\beta$ thatsächlich sehr klein (beiläufig 0·00001 für Unterseekabel), $W$ sehr gross. Obige Formeln vereinfachen sich wesentlich, wenn man $\beta = 0$, $W = \infty$ setzt, stellen aber immerhin noch mit genügender Annäherung den elektrischen Zustand im Kabel dar. Die Annahme $W = \infty$ entspricht einer vollkommenen Isolation des Kabels, bei welcher kein Isolationsstrom auftritt. Für diesen Fall gehen die obigen drei Gleichungen in folgende über:

$$V' = V_0 \left(1 - \frac{x}{L} - 2 \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n\pi} \sin \frac{n\pi x}{L} e^{-\frac{n^2 \pi^2 t}{w C L^2}}\right) \quad 5$$

$$I' = \frac{V_0}{Lw} \left(1 + 2 \sum_{n=1}^{n=\infty} \cos \frac{n\pi x}{L} e^{-\frac{n^2 \pi^2 t}{w C L^2}}\right) . \quad 6$$

$$I_1' = \frac{V_0}{Lw} \left(1 + 2 \sum_{n=1}^{n=\infty} (-1)^n e^{-\frac{n^2 \pi^2 t}{w C L^2}}\right) . \quad 7$$

Die letzte Gleichung ist besonders wichtig, da sie die Stromintensität im Kabelende, beziehungsweise im Empfangsapparate darstellt. Mit wachsender Zeit $t$ vergrössert sich auch $I_1'$ und nähert sich immer mehr dem Grenzwerthe

$$\frac{V_0}{Lw}.$$

Es ist dies zugleich die Stromintensität, welche in einem gewöhnlichen Leitungsdrahte von der Länge $L$ und dem Widerstande $w$ per Längeneinheit durch die Potentialdifferenz $V_0$ erzeugt wird. Bezeichnen wir mit $a$ den zehnten Theil dieser Maximal-Stromintensität und setzen wir zur Vereinfachung

$$e^{-\frac{\pi^2 t}{w C L^2}} = \varepsilon \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 8$$

so lässt sich der Ausdruck für $I_1'$ in folgender Art darstellen:

$$I_1' = 10a - 20a(\varepsilon - \varepsilon^4 + \varepsilon^9 - \varepsilon^{16} + \varepsilon^{25} - \ldots) \quad 9$$

So lange $\varepsilon > \frac{3}{4}$, bleibt die Stromstärke fast unmerklich.

Für $\varepsilon = \frac{3}{4}$ erhalten wir $I_1' = 0{\cdot}012454a$, das ist nur nahezu $\frac{1}{800}$ der Maximal-Stromstärke. Dann ist

$$e^{-\frac{\pi^2 t}{w C L^2}} = \frac{3}{4}; t = \frac{w C L^2}{\pi^2} \log \text{nat} \left(\frac{4}{3}\right).$$

Wir wollen diesen speciellen Werth der Zeit $t$ mit $\tau$ bezeichnen.

Fig. 46 zeigt eine von Thomson herrührende graphische Darstellung der Stromintensität $I_1'$ als Function der Zeit $t$ ($\tau$). Die Zeit ist als Abscisse, die Stromstärke

als Ordinate aufgetragen. Die einzelnen Quadratseiten bedeuten $a$ im Sinne der Abscissen-, $\tau$ im Sinne der

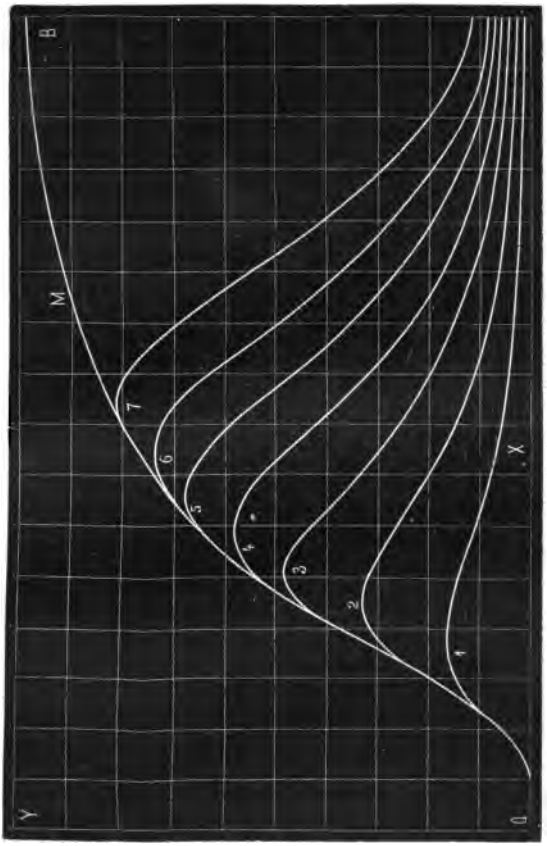



Fig. 46.

Ordinatenachsen.*) Die Curve $OMB$ nennt man »die Curve des ansteigenden Stromes« und sie gibt uns ein klares

*) Thomson, Philosophical Magazine. Vol. XI, 4. Serie, 1856, S. 156.

Bild über das allmälige Anwachsen des Stromes in der Endstation. Während der Zeit $\tau$ ist die Stromintensität auf der Endstation nahezu unmerklich, beginnt aber später rasch zuzunehmen und erreicht nach der Zeit $4\tau$ nahezu die Hälfte des Maximalwerthes $10a$. Nach Verlauf der Zeit $10\tau$ ist die Maximal-Stromstärke nahezu erreicht und von da ab wächst die Intensität des Stromes nur sehr langsam und nähert sich asymptotisch ihrem grössten Werthe $\frac{V_0}{Lw}$. (Vergl. auch die Anmerkung auf S. 195.)

Während der Zeit $10\tau$ wird das Kabel nahezu vollständig geladen und man kann diese Zeit deshalb auch als »Ladungszeit« bezeichnen. Aus der Gleichung

$$\tau = \frac{wCL^2}{\pi^2} \log \text{nat} \left(\frac{4}{3}\right) = 0{\cdot}02915\, wCL^2$$

folgt, dass die Ladungszeit dem Quadrate der Länge des Kabels und dem Producte $wC$ direct proportional ist.

Von der Empfindlichkeit des Empfangsapparates hängt es ab, in welcher Zeit ein gegebenes Zeichen an demselben erscheint. Ein sehr empfindliches Spiegelgalvanometer wird schon nach einer Zeit, die wenig grösser als $\tau$ ist, einen Ausschlag geben; ein weniger empfindliches bedarf vielleicht der Zeit $2\tau$, $3\tau$, $4\tau$, um in Bewegung zu gerathen.

Immerhin wird es sich empfehlen, höchst empfindliche Empfangsapparate zu nehmen, da dieselben ein rascheres Telegraphiren ermöglichen, vorausgesetzt, dass man die abgelenkte Magnetnadel durch eine Dämpfungsvorrichtung verhindert, nach dem Verschwinden des Stromes hin und her zu pendeln.

Vergleichen wir zunächst zwei Kabel von gleicher Beschaffenheit und verschiedener Länge. Die Empfangsapparate für beide sollen gleiche Empfindlichkeit besitzen und die verwendeten Batterien seien derart gewählt, dass die in beiden Kabeln schliesslich entstehenden Maximal-Stromintensitäten ($10a$) einander gleich werden.

Bezeichnen wir mit $L_1$, $L_2$ die Längen der Kabel, mit $V_0'$, $V_0''$ die elektromotorischen Kräfte der verwendeten Batterien, während $w$ und $C$ für beide Kabel denselben Werth besitzen, so ist

$$10a = \frac{V_0'}{L_1 w} = \frac{V_0''}{L_2 w}$$

oder

$$L_1 : L_2 = V_0' : V_0''$$

das heisst, es müssen sich die elektromotorischen Kräfte der Batterien gerade so verhalten, wie die Kabellängen. Nehmen wir ferner an, die beiden gleichen Empfangsapparate seien so empfindlich, dass dieselben schon bei einer Stromstärke von $\frac{1}{80}a$ ansprechen, so wird zum Erscheinen eines telegraphischen Zeichens (Ablenkung des Spiegelgalvanometers) die Zeit $\tau_1$, beziehungsweise $\tau_2$ nöthig sein. Dabei ist

$$\tau_1 = \frac{w C L_1^2}{\pi^2} \log \text{nat} \left(\frac{4}{3}\right); \quad \tau_2 = \frac{w C L_2^2}{\pi^2} \log \text{nat} \left(\frac{4}{3}\right)$$

$$\tau_1 : \tau_2 = L_1^2 : L_2^2.$$

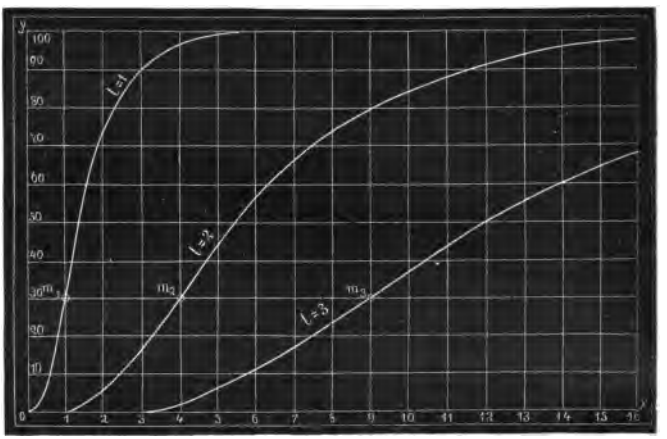
Das heisst: unter Voraussetzung gleicher Maximal-Stromstärken verhalten sich die Ladungszeiten zweier Kabel von gleicher Querschnittsgestalt und verschiedener Länge, wie die Quadrate der Länge. Demnach ver-

halten sich die Sprechgeschwindigkeiten*) umgekehrt wie die Quadrate der Längen.

Fig. 47 zeigt die Gestalt der Curve des ansteigenden Stromes für drei Kabel, deren Längen sich wie 1 : 2 : 3 verhalten.

Die an der Ordinatenachse $oy$ befindlichen Zahlen 10 bis 100 bedeuten Percente der Maximal-Stromstärke.

Fig. 47.




An der Abscissenachse sind 16 gleiche arbiträre Zeitelemente aufgetragen. Die Punkte $m_1, m_2, m_3$ entsprechen einer Stromstärke von 30% der Maximalintensität. Diese Stromstärke wird im ersten Kabel nach 1, im zweiten nach 4, im dritten nach 9 Zeitintervallen erreicht. Verwendet man in allen drei Fällen gleiche Empfangsinstrumente, die bei 30% der Gesammt-Stromstärke functioniren,

*) Sprechgeschwindigkeit = Anzahl der in der Zeiteinheit gegebenen telegraphischen Zeichen.

so wird am zweiten Kabel die Zeit, welche ein telegraphisches Zeichen braucht, 4 Mal, am dritten Kabel 9 Mal so gross sein als am ersten. Dabei dürfen wir nicht vergessen, dass die elektromotorischen Kräfte der verwendeten galvanischen Batterien sich ebenfalls wie 1 : 2 : 3 verhalten müssen.

Vergleichen wir nun zwei Kabel von verschiedener Construction und Länge und setzen wir voraus, dass auf beiden mit gleich empfindlichen Apparaten und gleicher Maximal-Stromstärke (10 a) gearbeitet werde. Die Kupferwiderstände der beiden Kabel per Längeneinheit seien, beziehungsweise $w'$ und $w''$, die Capacitäten, ebenfalls per Längeneinheit $C'$, $C''$.

Dann ist

$$10\,a = \frac{V_0'}{L_1\,w'} = \frac{V_0''}{L_2\,w''}$$

oder

$$V_0' : V_0'' = L_1\,w' : L_2\,w''.$$

$L_1\,w'$ und $L_2\,w''$ sind aber die Gesammtleitungswiderstände der Kupferadern beider Kabel und die elektromotorischen Kräfte der beiden Batterien müssen demnach so gewählt werden, dass sie diesen Gesammtwiderständen proportional sind. Ferner erhalten wir:

$$\tau_1 = \frac{w'\,C'\,L_1^2}{\pi^2} \log\text{nat}\left(\frac{4}{3}\right);$$

$$\tau_2 = \frac{w''\,C''\,L_2^2}{\pi^2} \log\text{nat}\left(\frac{4}{3}\right)$$

$$\tau_1 : \tau_2 = w'\,C'\,L_1^2 : w''\,C''\,L_2^2.$$

Es hängt also die Zeit, nach welcher ein telegraphisches Zeichen erscheint, im Allgemeinen vom Producte:

$$\text{Widerstand} \times \text{Capacität} \times \overline{\text{Länge}}^{2}$$

ab und ist diesem Producte direct proportional. Je kleiner dieses Product wird, desto grösser ist die Sprechgeschwindigkeit. Da die Länge $L$ durch die Entfernung der telegraphisch zu verbindenden Orte gegeben ist, kann man nur durch zweckmässige Wahl von $w$ und $C$ auf die Vergrösserung der Sprechgeschwindigkeit einwirken und macht diese beiden Grössen so klein als möglich. Eine Verkleinerung von $w$ wird durch Vergrösserung des Querschnittes der Kupferader erzielt. Die Capacität nimmt unter sonst gleichen Umständen mit der Dicke der Isolirhülle ab.

Es ist nämlich die Capacität per Längeneinheit des Kabels nach Gleichung 1, S. 163:

$$C = \frac{2\,d\,\pi}{\log\,\text{nat}\,\frac{R}{r}}$$

und wenn wir die Dicke der Kabelhülle $\delta = R - r$ einführen:

$$C = \frac{2\,d\,\pi}{\log\,\text{nat}\left(1 + \frac{\delta}{r}\right)}$$

Wächst $\delta$, so nimmt auch der Nenner des Bruches zu, somit sinkt der Werth des Quotienten.

Für die Grenze der Dimensionen der Kupferader und Isolirhülle sind einzig finanzielle Rücksichten massgebend. Vorausgesetzt, dass eine Kabelgesellschaft mit Sicherheit auf eine continuirliche Ausnützung der Linie rechnen kann, wird dieselbe bestrebt sein, eine solche Sprechgeschwindigkeit zu erzielen, dass die Einnahmen

an Depeschentaxen die Zinsen des Anlagecapitals für das Kabel um ein entsprechendes Mass übersteigen, und es werden dann auf Grund einer Rentabilitätsberechnung die Maximaldimensionen des Kabels bestimmt.

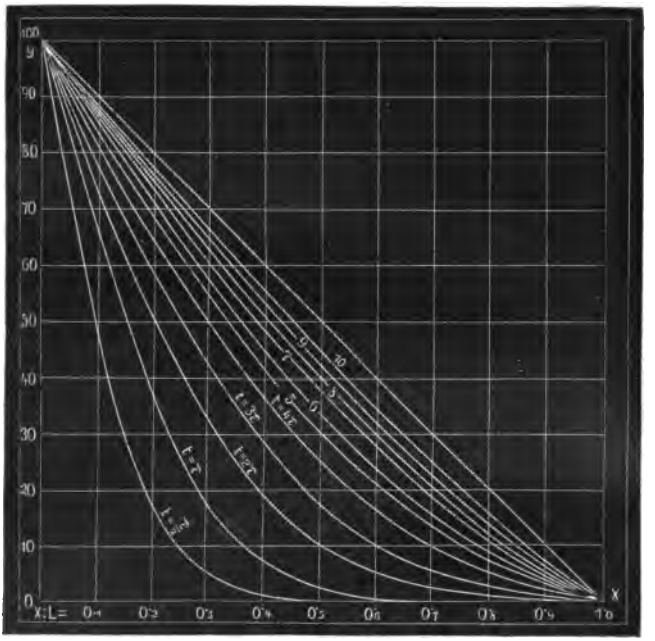
Beim praktischen Kabelbetrieb lässt man die Stromstärke nie bis zu ihrer vollen Höhe anwachsen, da dies einen zu grossen Zeitaufwand erfordern würde, sondern unterbricht schon früher die Verbindung mit der Batterie und leitet den Anfangspunkt des Kabels zur Erde ab. Es strömt dann die in der Kabelhülle aufgespeicherte Elektricität nach beiden Seiten zur Erde und die Entladung bedarf nahezu nur den vierten Theil der Zeit, in welcher die Ladung und Zeichengebung erfolgte. Die in Fig. 46 (S. 173) gezeichneten Curven 1—7 stellen den Stromverlauf im Kabelende dar, wenn der Anfangspunkt durch die Zeit $\tau$, $2\ \tau$, $3\ \tau$ .... $7\ \tau$ mit der Batterie verbunden und dann zur Erde abgeleitet wird.

Auch die Gleichungen 5 und 6, Seite 171, lassen sich graphisch darstellen. Gleichung 5 gibt die elektrische Spannung, Gleichung 6 die Stromstärke in beliebigen Punkten des Kabels zu verschiedenen Zeiten. Da Potential und Stromstärke von zwei Grössen, $x$ und $t$, abhängig sind, so können wir dieselben nicht durch eine einzige Curve, wohl aber durch eine ganze Schaar von krummen Linien darstellen.

Fig. 48 stellt die Curven der elektrischen Spannung dar. An der Abscissenachse ist die Kabellänge $ox = L$ in verjüngtem Massstabe aufgetragen. Die Ordinate $oy$ entspricht der Spannung der Batterie. Die einzelnen Curven entsprechen den Spannungen nach den Zeiten

$\frac{\tau}{2}$, $\tau$, 2 $\tau$, 3 $\tau$ .. 10 $\tau$. Erst nach unendlich langer Zeit stellt sich der Grenzzustand her und die Spannungscurve geht in die gerade Linie $xy$ über.

Fig. 48.

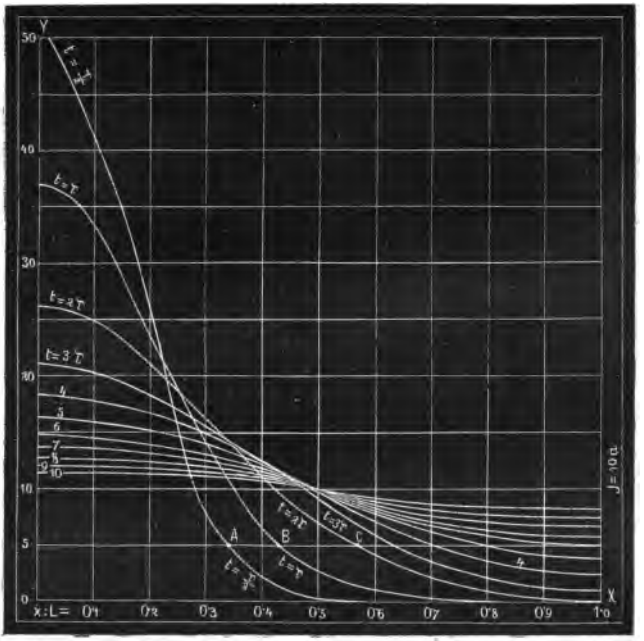



In ähnlicher Art sind in. Fig. 49 die Stromintensitäts-Curven*) entstanden, indem die Längen als Abscissen, die Stromstärken als Ordinaten aufgetragen wurden. Die Entfernung der horizontalen Linie 10

*) Vergl. Zetzsche, Handbuch der Telegraphie, II. Bd.

entspricht der im Endpunkte des Kabels entstehenden Maximalintensität $10a$. Die Stromcurven sind für die Zeitintervalle $\frac{\tau}{2}$, $\tau$, $2\tau$, ... bis $10\tau$ gezeichnet. Die

Fig. 49.




Stromcurve für $\frac{\tau}{2}$ sagt uns, dass nach dieser Zeit die Stromintensität in der Mitte des Kabels ($x : L = 0{\cdot}5$) noch nahezu unmerklich ist. Erst für $t = \tau$ (zweite Stromcurve) erreicht die Stromintensität am Kabelende den achthundertsten Theil ihres Maximalwerthes, während sie am Kabelanfang mehr als $3^1/_2$ Mal so gross ist, als $10a$.

In der ersten Hälfte des Kabels wird die Maximal-Stromintensität ziemlich rasch erreicht. Für $t = 5\,\tau$ ist die Stromintensität am Kabelanfang um etwa $7\,a$ grösser, am Kabelende beiläufig um den nämlichen Betrag kleiner, als die Intensität des stationären Zustandes $10\,a$.

Die Horizontale 5 schneidet die 1., 2. und 3. Stromcurve in den Punkten $A$, $B$ und $C$.

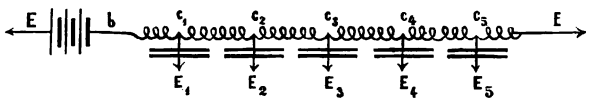
Würde man an diesen Punkten das Kabel durchschneiden und Empfangsapparate einfügen, die bei der Stromstärke $5\,a$ ansprechen, so würde nach der Zeit $\frac{\tau}{2}$ der Apparat in $A$, nach der Zeit $\tau$ jener in $B$ und nach $2\,\tau$ der Apparat in $C$ ein Zeichen geben.

Die eigentliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität, welche nach theoretischen Forschungen mit jener des Lichtes übereinstimmt, kommt also gar nicht in Betracht. Varley hat die Erscheinung der Stromverzögerung in Kabeln durch Anwendung grosser Widerstände und Condensatoren im engen Raum eines Hörsaales in sehr anschaulicher Weise einem grossen Auditorium vorgeführt. Als specielles Beispiel wurden das atlantische und das australische Kabel nachgeahmt. Als Kupferwiderstand dienten für das erstere Spulen, welche mit sehr dünnem Drahte bewickelt waren, für das letztere nahm man Wassersäulen; die Capacität der Kabelhüllen war durch eine Reihe von Condensatoren, die in gleichen Abständen zwischen den Widerständen angebracht waren, ersetzt. Fig. 50 zeigt diese Anordnung in schematischer Zeichnung.

Die Condensatoren sind mit $c_1\ c_2\ c_3 \ldots$, die Batterie mit $b$ bezeichnet. Die Pfeilspitzen $E\ E_1\ E_2 \ldots$ bedeuten

Erdleitungen. Für die Linie nach Australien waren zehn Stationen angenommen: Gibraltar, Malta, Suez, Aden, Bombay, Calcutta, Rangoon, Singapore, Jaffa und Australien. Als Empfangsapparat wurde an jeder dieser Stationen ein sehr empfindliches Reflexgalvanometer eingeschaltet; die Spiegel waren durch elektrische Lampen beleuchtet und so eingerichtet, dass die zehn projicirten Lichtbilder sich auf einem Schirme in einer senkrechten Geraden anordneten, wenn die Galvanometerspulen stromlos waren. Dadurch war jede relative Bewegung der Spiegelbilder sofort ersichtlich. Als Stromerreger benützte

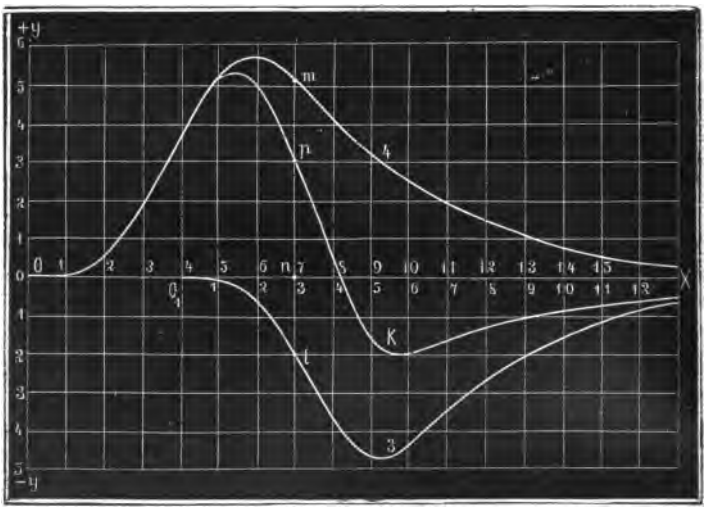
Fig. 50.




Varley 800 kleine Daniell-Elemente und sendete aus dieser Säule durch einen Doppeltaster positive oder negative Ströme in die Leitung. Die letztere war an einem Ende mit der Erde verbunden. Die Ströme veranlassten zuerst ein Zeichen auf der ersten Station; ein bis zwei Secunden später erhielt Malta das Zeichen und so nach einander die übrigen Stationen, bis endlich nach einer halben Minute auch das australische Spiegelgalvanometer einen Ausschlag gab. Nach einiger Zeit hatten sämmtliche Spiegelbilder die gleiche Verschiebung erfahren, die Maximal-Stromstärke war dann nahezu erreicht. Als dann das eine Kabelende von der Batterie entfernt und zur Erde abgeleitet wurde, zeigten sämmtliche in der ersten Hälfte gelegenen Stationen einen

dem früheren entgegengesetzt gerichteten Strom; die Station Bombay in der Mitte hingegen zeigte gar keinen Ausschlag. Die Umkehrung der ursprünglichen Stromrichtung geschah in Folge der Entladung, die von der Mitte aus nach beiden Seiten gleichzeitig erfolgte.

Fig. 51.

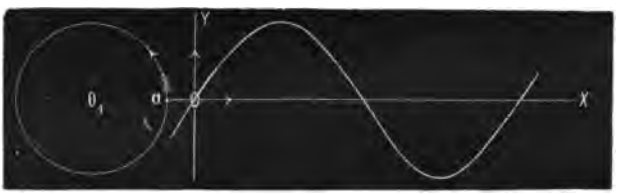



## 5. Anwendung von Wechselströmen.

Die Entladung eines Kabels lässt sich bedeutend beschleunigen, wenn man dasselbe anstatt mit der Erde, mit einer Elektricitätsquelle verbindet, die eine der schon vorhandenen entgegengesetzte Ladung herbeizuführen strebt. Schon Varley hat gezeigt, dass sich mit alternirenden Stromrichtungen weit rascher telegraphiren lässt, als bei ausschliesslicher Verwendung einer und

derselben Stromrichtung. In Fig. 51 ist die Stromcurve $k$ dargestellt, welche entsteht, wenn man das Kabel durch die Zeit $4\,\tau$ an den positiven Pol, darauf während der Zeit $3\,\tau$ an den negativen Pol einer und derselben Batterie anlegt und schliesslich zur Erde ableitet. Die Stromcurve $k$ erhält man aus den beiden in Fig. 46, Seite 173, gegebenen Curven 4 und 3, wenn man dieselben mit Berücksichtigung der Zeitdifferenz $O\,O_1 = 4\,\tau$ in entgegengesetzten Lagen in ein und dasselbe Coordinatensystem einzeichnet und die Ordinaten der beiden Curven sub-

Fig. 52.




trahirt. So ist z. B. $\overline{p\,n} = \overline{m\,n} - \overline{n\,l}$ und man muss, um den Punkt $p$ zu finden, die Strecke $n\,l = m\,p$ von $m$ nach abwärts auftragen.

Verändert man successiv die elektromotorische Kraft der Batterie, so kann man der Stromcurve jede beliebige Gestalt ertheilen.

Eine bemerkenswerthe Form derselben ist die Sinuslinie. Die geometrische Entstehungsweise dieser Curve ist folgende: Der Punkt $O$ (Fig. 52) bewegt sich in der Richtung $OX$ mit gleichförmiger, in der Richtung $OY$ mit periodisch veränderlicher Geschwindigkeit, welch' letztere der parallel zu $OY$ gerichteten Geschwindigkeits-Componente eines Punktes $a$ gleichkommt, der sich im

Kreise $O_1$ gleichförmig bewegt. Derartige Sinuswellen treten z. B. in den Telephonleitungen auf. Die Stromcurve passirt dann mit gleichförmiger Geschwindigkeit das ganze Kabel und bildet eine reguläre elektrische Welle, deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit dem Producte $L\sqrt{wC}$ verkehrt proportional ist.

Nach den Untersuchungen von Siemens*) ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Wellen um so grösser, je rascher dieselben aufeinander folgen. Die Intensität der Wellen nimmt in geometrischer Progression ab, wenn die Länge des Kabels nach einer arithmetischen Progression wächst, ist also bei doppelter Kabellänge viermal, bei dreifacher Kabellänge neunmal kleiner. Für die Erdkabel des Deutschen Reiches beträgt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Wellen 8400 km, wenn in der Secunde sechs Wellen erzeugt werden. Die Wellenlänge ist somit 1400 km.

### 6. Inductionserscheinungen in Kabeln.

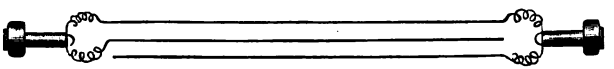
Wenn zwei oder mehrere Kabel entweder dicht neben einander oder in geringer Entfernung verlegt sind, so werden durch die Ströme in der Metallader des einen Kabels Volta-Inductionsströme in der anderen Kupferader erregt. Ausserdem wirkt auch die Ladung der einen Kabelhülle vertheilend auf die danebenliegende ein, vorausgesetzt, dass keine vollständige Ableitung der Guttaperchahülle stattfindet. Am häufigsten hat man Gelegenheit, diese Inductionserscheinungen in Landkabeln zu beobachten, da die Unterseekabel zumeist nur ein-

*) Zetzsche, Handbuch, 2. Bd., S. 348.

litzig angefertigt werden. Besonders häufig beobachtet man die Inductionserscheinungen in Telephonkabeln, und man hat, um Störungen vorzubeugen, für die meisten Telephonleitungen Doppeldrähte verwendet, die zu einem Seile zusammengedreht sind. Es entstehen dann in den parallelen Drähten gleichartige Inductionsströme, die sich in ihrer Wirkung auf das Telephon gegenseitig aufheben.

Sehr auffallende Inductionserscheinungen wurden gelegentlich der Verlegung des durch den Gotthard-Tunnel führenden Kabels beobachtet.*)

Fig. 53.



Dasselbe enthielt 7 Kupferlitzen und wurde in 15 Rollen von je 1000 m Länge geliefert. Nach Auslegung jedes einzelnen Stückes wurde die Verbindung mit dem vorhergehenden hergestellt und durch ein sorgfältiges Prüfungsverfahren constatirt, ob das Kabel beim Verlegen Schaden genommen habe oder nicht. Dabei dienten zwei Kabellitzen zur telephonischen Correspondenz. Durch Unachtsamkeit geschah es, dass, als gerade das zwölfte Kabelstück angespleisst war, die telephonische Verbindung unrichtig hergestellt wurde, so dass in der einen Station die Klemmen des Telephons mit der ersten und zweiten, in der andern Station mit der ersten und dritten Kabellitze verbunden waren (Fig. 53). Die Leitung von einem Telephon zum andern

*) Vergl. Elektrotechnische Bibliothek, XVI. Bd., S. 129.

war also unterbrochen. Nichtsdestoweniger gelang die telephonische Correspondenz ebenso gut, wie bei regelrechter Verbindung. Ebenso war es möglich, mit dieser ungeschlossenen Leitung ein elektrisches Klingelwerk zu betreiben. Man war zuerst der Ansicht, dass ein grober Fehler im Kabel vorhanden sein müsse, überzeugte sich aber bald durch sorgfältige Untersuchungen, dass in der That nur die Induction in den parallelen Drähten hingereicht hatte, die geschilderten Phänomene hervorzurufen.

### 7. Bestimmung der Capacität.

Capacitätsmessungen sind eine Specialität der Kabelelektriker und kommen in anderen Zweigen der Elektrotechnik nahezu gar nicht vor, weshalb wir dieselben hier speciell behandeln, während wir bezüglich der übrigen elektrischen Messungen auf den IX. und XVI. Band der Elektrotechnischen Bibliothek verweisen.*)

Verbindet man einen geladenen Condensator mit einem Galvanometer, das zur Erde abgeleitet ist, so entladet sich derselbe. Die Entladung geschieht in sehr kurzer Zeit, wenn der Widerstand der Galvanometerrollen nicht ausserordentlich gross ist, und wirkt wie ein Stoss auf die Magnetnadel. Der Ausschlag wächst mit der Grösse der Ladung, und diese ist der Spannung der Ladungsbatterie und der Capacität des Condensators direct proportional.

*) Im Anhange des XVI. Bandes findet sich eine übersichtliche Zusammenstellung der Methoden zur systematischen Aufsuchung fehlerhafter Stellen in Kabeln.

Entladet man mehrere Condensatoren durch ein und dasselbe Galvanometer, so sind die Ladungen den Sinussen der halben Ausschlagswinkel proportional. Vergleichen wir zwei Condensatoren, deren Capacitäten $C_1$ und $C_2$ seien, und bezeichnen wir die Spannungen der Ladungsbatterien mit $V_1$ und $V_2$, so sind die Ladungsgrössen durch die Producte $C_1 V_1$ und $C_2 V_2$ gegeben.

Bezeichnen wir ferner mit $\alpha_1$ und $\alpha_2$ die Galvanometer-Ausschläge, so besteht die Proportion:

$$\sin \frac{\alpha_1}{2} : \sin \frac{\alpha_2}{2} = C_1 V_1 : C_2 V_2 .$$

Hat man beide Condensatoren durch dieselbe Batterie geladen, so ist $V_1 = V_2$ und die Proportion lautet dann:

$$\sin \frac{\alpha_1}{2} : \sin \frac{\alpha_2}{2} = C_1 : C_2 .$$

Vergleicht man die Capacitäten eines Kabels mit jener eines Standart-Condensators (Blättercondensators aus Glimmer und Stanniol) von beispielsweise 1 Mikrofarad, so erhält man:

$$\sin \frac{\alpha_1}{2} : \sin \frac{\alpha_2}{2} = 1 : x . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1$$

$$x = \frac{\sin \frac{\alpha_2}{2}}{\sin \frac{\alpha_1}{2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2$$

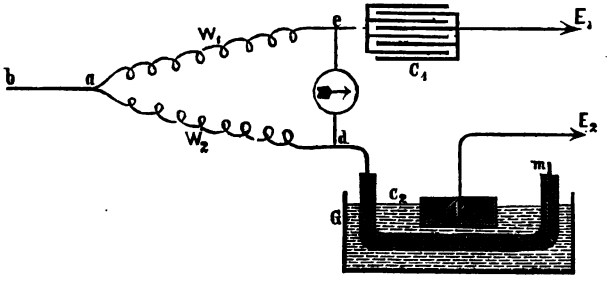
Hat man mehrere Bestimmungen zu machen, so ist für ein und dasselbe Galvanometer und bei Verwendung des gleichen Normalcondensators $\sin \frac{\alpha_1}{2}$ eine Constante.

Man berechnet sich dann $\frac{1}{\sin \frac{\alpha_1}{2}} = k$ und findet:

$$x = k \sin \frac{\alpha_2}{2} \quad \ldots \ldots \quad 3$$

Es genügt also, um die Capacität eines Kabels zu bestimmen, dass man dasselbe durch eine Batterie von bekannter Spannung ladet, sodann durch ein Galvanometer entladet und den Sinus des halben Ausschlag-

Fig. 54.




winkels mit der Constante $k$ multiplicirt. Die Methode ist insofern ungenau, als die Entladungszeit immerhin eine unter Umständen nicht unbeträchtliche Grösse besitzt.

Eine andere Methode, welche von der Entladungszeit unabhängig ist, rührt von De Sauty her.

In Fig. 54 stellt $C_1$ den Standart-Condensator,*) $C_2$ das zu untersuchende Kabel dar. Das letztere wird, an einem Ende *(m)* isolirt, in das mit Wasser gefüllte Gefäss $G$ gelegt. Die Flüssigkeit ist durch die Platte $P$ mit der Erde leitend verbunden. $E_1$ und $E_2$ sind Erdleitungen.

*) Die Capacität desselben in Mikrofarad muss bekannt sein.

Beide Condensatoren sind durch die Widerstände $W_1$ und $W_2$ mit dem kurzen Leitungsstücke $ab$ verbunden. Ausserdem ist eine Zweigleitung $de$ vorhanden, in welcher ein empfindliches Galvanometer eingeschaltet ist. Zuerst verbindet man das Leitungsende $b$ mit dem einen Pol der Ladungsbatterie, deren zweiter Pol zur Erde abgeleitet ist.

Es laden sich nun beide Condensatoren. Die elektrische Spannung ist auf beiden dieselbe und werde mit $V_0$ bezeichnet. Darauf verbindet man das Ende $b$ mit der Erde, wodurch die Entladung erfolgt. Denken wir uns zunächst die Brücke $de$ nicht vorhanden und setzen wir ferner voraus, der Condensator $C_1$ sei durch den Widerstand $W_1$, das Kabel, dessen Capacität wir gleich $C_2$ setzen, durch den Widerstand $W_2$ mit der Erde verbunden. Vom Momente der Ableitung beider Condensatoren zur Erde nimmt die elektrische Spannung auf denselben rasch ab. Bezeichnen wir die elektrischen Spannungen nach der Zeit $t$ mit $V_1$ (Standart) und $V_2$ (Kabel), so ist nach Gleichung 6, S. 167

$$V_1 = V_0\, e^{-\frac{t}{C_1 W_1}}; \quad V_2 = V_0\, e^{-\frac{t}{C_2 W_2}}.$$

Stellt man die Bedingung, dass $V_1 = V_2$ sein soll, so wird diese für jede beliebige Zeit $t$ erfüllt, wenn

$$C_1 W_1 = C_2 W_2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4$$

Ist hingegen $C_1 W_1 > C_2 W_2$, so wird

$$\frac{t}{C_1 W_1} < \frac{t}{C_2 W_2}, \text{ also } e^{-\frac{t}{C_1 W_1}} > e^{-\frac{t}{C_2 W}} \text{ und } V_1 > V_2.$$

Denken wir uns nun die Galvanometerabzweigung $de$ wieder hergestellt, so geht ein Strom vom Condensator höherer Spannung ($V_1$) zu jenem niedrigerer Spannung ($V_2$).

Ist hingegen $V_1 = V_2$, so entsteht kein Strom im Zweige *de*. Man regulirt nun die Widerstände $W_1$ und $W_2$ so lange, bis das Galvanometer während der Entladung keinen Strom zeigt. Es gilt dann Gleichung 4, und wir erhalten für die zu suchende Capacität des Kabels

$$C_2 = C_1 \frac{W_1}{W_2}.$$

Eine dritte Methode, welche nicht den Besitz eines Standart-Condensators voraussetzt, rührt von Siemens her.

Der Condensator, dessen Capacität zu bestimmen ist, wird zuerst bis zum Potential $V_0$ geladen. Sodann entladet man denselben theilweise, indem man den Entladungsstrom durch eine gemessene Zeit $t$ einen sehr grossen Widerstand $W$ passiren lässt. Nach der Zeit $t$ unterbricht man die Entladung und misst die noch vorhandene Spannung $V_1$ am Condensator. Dieselbe ist wesentlich kleiner als $V_0$.

Nach Gleichung 6, S. 167, ist nun

$$V_1 = V_0 \, e^{-\frac{t}{CW}}.$$

Von den in dieser Gleichung vorkommenden Grössen sind sämmtliche, mit Ausnahme der Capacität $C$, bekannt. Durch Auflösung der Gleichung nach $C$ ergibt sich

$$C = \frac{t}{W \, (\log \text{ nat } V_0 - \log \text{ nat } V_1)}.$$

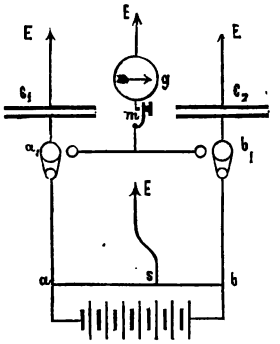
Misst man die Zeit $t$ in Secunden, den Widerstand $W$ in Ohm's, so ergibt sich $C$ in Farad's. Die Einheit, mit welcher die Spannungen $V_0$ und $V_1$ gemessen werden, ist willkürlich, da

$$\log \text{ nat } V_0 - \log \text{ nat } V_1 = \log \text{ nat } \frac{V_0}{V_1}.$$

Eine vierte Methode hat W. Thomson angegeben. Die zu vergleichenden Condensatoren werden derart geladen, dass die Ladungen derselben einander numerisch gleich, dem Vorzeichen nach aber entgegengesetzt sind.

Zu diesem Zwecke spannt man einen feinen Platindraht $ab$ von 1 bis 2 m Länge (Fig. 55) über eine Millimetertheilung und verbindet die Enden $a$ und $b$ mit den Polen einer Batterie. Die Leitungen $aa_1$ und $bb_1$ führen zu den Condensatoren. Durch einen verschiebbaren Contact $s$ wird ein Punkt des Drahtes $ab$ mit der Erde leitend verbunden und an demselben die elektrische Spannung auf Null gebracht.

Fig. 55.




Die Spannungen in $a$ und $b$ haben entgegengesetztes Vorzeichen und verhalten sich zu einander wie die Widerstände $\overline{as}$ und $\overline{bs}$, und da wir den Querschnitt des Platindrahtes constant annehmen können, auch wie die Strecken $\overline{as}$ und $\overline{bs}$. Bezeichnen wir die elektrischen Spannungen in $a$ und $b$ mit $V_1$ und $-V_2$, so sind die Ladungen der Condensatoren $C_1 V_1$ und $-C_2 V_2$.

Unterbricht man nach einiger Zeit die Verbindungen $aa_1$ und $bb_1$, und stellt durch die Drehung der Kurbeln $a_1$ und $b_1$ zwischen $a_1$ und $b_1$ eine Leitung her, so findet eine Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitätsmengen $C_1 V_1$ und $-C_2 V_2$ statt. Dieselbe ist vollständig, wenn die Ladungen $C_1 V_1$ und $C_2 V_2$ numerisch gleich

sind. Ist dies nicht der Fall, so behalten beide Condensatoren noch einen gewissen Ladungszustand bei, und wenn man durch Niederdrücken der Taste $m$ das Galvanometer $g$ einschaltet, so gibt dieses einen Ausschlag.

Haben sich aber die Ladungen vollständig ausgeglichen, so bleibt das Galvanometer stromlos. Man verschiebt nun den Contact $s$ so lange, bis das Galvanometer keinen Entladungsstrom zeigt, dann ist $C_1 V_1 = C_2 V_2$, oder

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{V_2}{V_1},$$

nun ist aber

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\overline{bs}}{\overline{as}},$$

somit auch

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\overline{bs}}{\overline{as}}.$$

Wenn wir mit $C_1$ die Capacität des Standart-Condensators bezeichnen, finden wir für die zu bestimmende Capacität

$$C_2 = C_1 \frac{\overline{as}}{\overline{bs}}.$$

Handelt es sich um die Vergleichung der Capacität zweier Condensatoren, von denen man annehmen kann, dass sie auch nach einigen Minuten keinen bedeutenden Ladungsverlust erlitten haben, so kann man folgende Methode anwenden: Man ladet den einen Condensator $C_1$ bis zum Potential $V_1$ das man misst, und verbindet ihn dann in der Art mit einem anderen Condensator $C_2$, dass beide zusammen einen neuen Condensator von der

Capacität $C_1 + C_2$ bilden. Die ursprünglich vorhandene Elektricitätsmenge $C_1 V_1$ vertheilt sich nun auf beide Condensatoren und die Spannung nimmt ab. Bezeichnen wir die auf beiden Condensatoren vorhandene elektrische Spannung mit $V'$, so ist

$$C_1 V_1 = V' (C_1 + C_2).$$

Ist z. B. $C_2$ unbekannt, so findet man

$$C_2 = C_1 \left(\frac{V_1}{V'} - 1\right).$$

---

Anmerkung zu Fig. 46, Seite 173.

Die mit 1, 2, 3, .... 7 bezeichneten, von der Curve des ansteigenden Stromes $OMP$ abzweigenden wellenförmigen Linien sind ebenfalls Stromintensitäts-Curven. Curve 1 stellt den Stromverlauf im Kabelende dar, wenn man den Kabelanfang während der Zeit $\tau$ an die Batterie und sodann an die Erde legt. Curve 2 entsteht, wenn das Kabel während der Zeit $2\tau$ an die Batterie gelegt und dann mit der Erde verbunden wird u. s. w.

---

## IV. Abschnitt.

# Die Apparate der Kabeltelegraphie.

### 1. Uebersicht.

Die Ueberwindung der Schwierigkeiten, welche beim Telegraphiren auf Kabeln durch das Auftreten der Ladungs- und Entladungsströme entstehen, sowie die Nothwendigkeit, Kabellinien mit Strömen von ausserordentlich geringer Intensität zu betreiben, hat zu mannigfaltigen eigenthümlichen Apparatconstructionen geführt, die einestheils in Modificationen der altbewährten Morse- und Hughes-Einrichtungen bestehen, anderntheils in vollständig neuer Form für den Betrieb der grossen transoceanischen Kabellinien ersonnen und ausgeführt wurden.

Wir können die Kabeltelegraphen-Apparate in drei Gruppen gliedern:

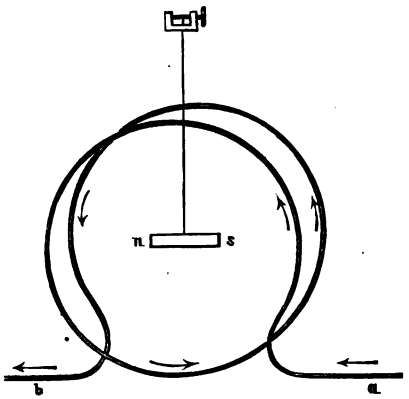
1. Apparate, die zum Betriebe ganz kurzer Land- oder Seekabel dienen, bei denen also die Ladungserscheinungen eine eben so untergeordnete Rolle spielen, als jene, welche man auf gewöhnlichen Luftlinien zu beobachten Gelegenheit hat.

2. Apparate für Kabel mittlerer Länge*), an denen schon sehr kräftige Entladungsströme auftreten, für welche besondere Ableitungen geschaffen werden müssen.

3. Apparate für transoceanische Kabellinien.

Zu den Apparaten erster Art gehören sämmtliche auf Luftlinien verwendbaren Systeme. Aus diesen entstehen durch gewisse Modificationen, welche die Ablei-

Fig. 56.




tung der Entladungsströme bewirken, die Apparate zweiter Art, bezüglich deren Beschreibung wir auf den fünften Band der Elektrotechnischen Bibliothek (S. 241), sowie auf die Werke von Schellen, Dub u. A. verweisen.**) Nachstehend sollen nur die wichtigsten Apparate der dritten Gruppe, die Kabeltelegraphen-

*) Z. B. Frankreich—Algier.

**) Vergl. auch Zetzsche, Katechismus der Telegraphie. Leipzig, Weber, 1883, S. 355.

Apparate im engeren Sinne des Wortes, einer eingehenden Betrachtung unterzogen werden.

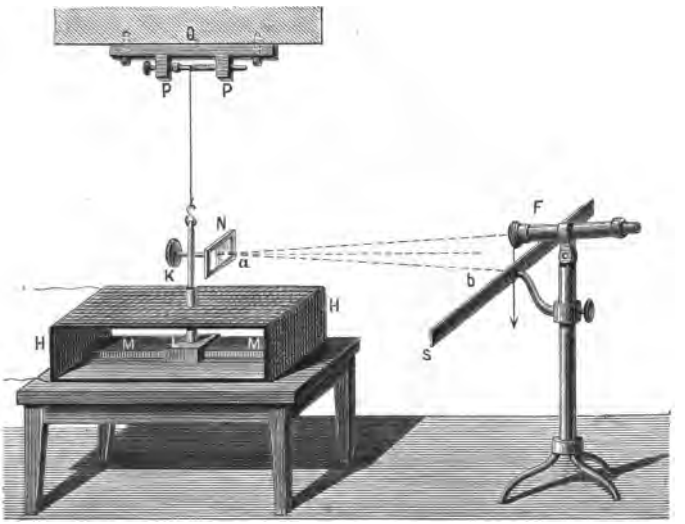
### 2. Spiegelgalvanometer von Thomson.

Umgibt man eine Magnetnadel *n s* (Fig. 56, S. 197), die an einem dünnen biegsamen Faden frei schwebend hängt, mit einem schraubenförmig gewundenen Leitungsdraht derart, dass die Achse der Drahtschraube auf jener des Magnetchens senkrecht steht, so wird durch einen elektrischen Strom, der im Sinne der Pfeile die Drahtschraube durchfliesst, ein Drehmoment auf den Magnet ausgeübt, derart, dass sich sein Nordende (*n*) vor die Ebene der Zeichnungsfläche, sein Südende (*s*) hinter dieselbe bewegt. Eine Umkehrung der Stromrichtung hat die entgegengesetzte Drehbewegung der Nadel zur Folge.

Verbindet man das Ende *b* mit der Erde, das Ende *a* mit einer Telegraphenleitung, so kann man, indem man positive oder negative Ströme in die letztere sendet, zweierlei Ablenkungen der Nadel aus ihrer Ruhelage hervorbringen, aus denen sich eben so gut wie aus den Elementen »Punkt« und »Strich« der Morseschrift ein Alphabet combiniren lässt. In dieser Weise hatten Gauss und Weber schon im Jahre 1833 auf einer 900 m langen Telegraphenlinie in Göttingen correspondirt. Fig. 57 zeigt die Einrichtung des Gauss'schen Empfangsapparates (Magnetometers). Ein Stahlmagnet *M M* ist an dem Tragstäbchen *K* befestigt und mit einem dünnen Draht an der Decke *Q* aufgehängt. Der Magnet bewegt sich im Inneren eines parallelepipedischen Rahmens *H H*, der mit isolirtem Kupferdraht umwickelt ist. Am Trag-

stäbchen *K* ist der kleine Spiegel *N* befestigt, gegen welchen das Fernrohr *F* gerichtet ist. Durch dieses beobachtet man das Bild der Scale *s* im Spiegel *N*. So lange sich der Magnet *M* in Ruhe befindet, erscheint das Spiegelbild der Scale immer an der nämlichen Stelle

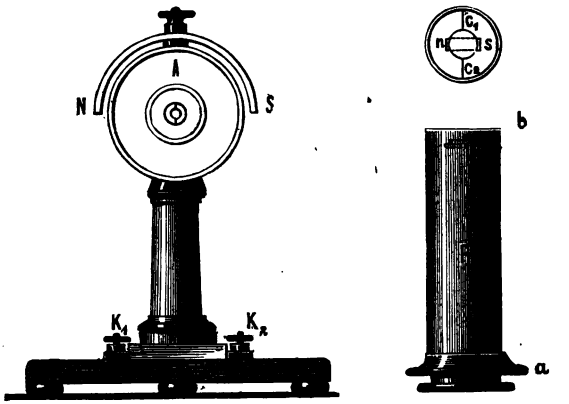
Fig. 57.




des Gesichtsfeldes im Fernrohr *F*. Sendet man nun einen Strom durch die Windungen *H H*, so bewegt sich sofort der Magnet und mit ihm das Spiegelbild der Scale im Gesichtsfelde des Fernrohres nach rechts oder links, wie dies eben durch die Richtung des Stromes und die Anfangslage des Magnet's bedingt ist. Dabei ist der Winkel, welchen die Gerade *a b* beschreibt, gleich dem doppelten Drehungswinkel des Magnet's. Der Apparat ist sehr

empfindlich, und minimale Schwankungen des Magnet's, die mit freiem Auge niemals wahrgenommen werden könnten, werden als deutliche Verschiebungen der Scale beobachtet. Auf gleichem Principe beruht Thomson's Spiegelgalvanometer. An Stelle der Windungen $H$ treten kreisförmige hohle Spulen von 1000—2000 Ohm Widerstand. Das Spiegelchen wird im Inneren der Spule untergebracht

Fig. 58.




und die Spiegelfläche parallel zu den Ebenen der Drahtwindungen angeordnet. Auf der Rückseite des Spiegelchens wird ein kleiner Magnet befestigt. Um das ermüdende Beobachten durch das Fernrohr zu vermeiden, setzte Thomson an dessen Stelle eine Lichtquelle, die mit Hilfe einer Linse ein Lichtbild auf die Scale wirft, das bei der leisesten Bewegung des Spiegels hin und her wandert. Die Construction des Thomson'schen Spiegelgalvanometers (1858) hat in den letzten zwanzig Jahren

mannigfache Veränderungen erfahren, und während man zuerst höchst empfindliche, astatische Instrumente verwendete, gebraucht man heute fast ausschliesslich Galvanometer mit einfacher Magnetnadel, die zwar keineswegs den höchst erreichbaren Grad der Empfindlichkeit besitzen, aber gerade deswegen besser zum praktischen Kabelbetriebe geeignet sind. Fig. 58 zeigt eine viel verwendete Form des Sprechgalvanometers. Die Galvanometerspule $A$ besteht aus zwei getrennten Umspinnungen von je 1000 Ohm Widerstand.

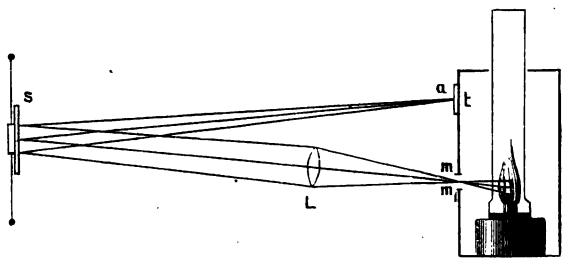
Aus diesen lassen sich Widerstände von 500, 1000 und 2000 Ohm combiniren, je nachdem man die Spulen neben einander oder hinter einander schaltet oder nur eine einzige Spule benützt. Die Stromzuführung geschieht durch die Klemmen $K_1$ $K_2$. Durch den gebogenen Stahlmagnet $NS$ wird das Magnetspiegelchen*) in einer bestimmten Ruhelage festgehalten und der Einwirkung des Erdmagnetismus entzogen, so dass das Galvanometer in jeder beliebigen Lage aufgestellt werden kann. In die cylindrische Höhlung der Galvanometerspule wird die kupferne Röhre $R$ eingeschoben. Dieselbe ist an einem Ende ($a$) verschlossen. Am andern Röhrenende, das bis in die Mitte der Galvanometerspule reicht, ist das Magnetspiegelchen $ns$ durch zwei kurze Coconfäden $c_1$ $c_2$ befestigt. Sollte einer der Coconfäden reissen, so zieht man die Röhre $R$ aus der Spule heraus, und kann mit aller Bequemlichkeit und Sicherheit einen neuen Faden einziehen.

Zur Herstellung des objectiven Lichtbildes ($a$, Fig. 59) dient eine Petroleumlampe, die in einem undurchsichtigen

*) Der Durchmesser desselben beträgt im Mittel 1 cm.

Gehäuse verborgen ist. Durch die Spalte $m m_1$ gehen die Lichtstrahlen zur Sammellinse $L$, fallen dann auf das Spiegelchen $s$ und werden bei $a$ auf der Scale $t$ zu einem runden Bilde vereinigt. Bezeichnen wir die Entfernung der Linse von der Spalte $m m_1$ mit $g$, die Summe der Entfernungen zwischen Linse und Spiegel ($L s$), Spiegel und Scala ($a s$) mit $b$, die Brennweite der Linse mit $p$,, so muss, soll das Bild der Spalte $m m_1$ auf der Scale $t$ deutlich erscheinen, folgende Gleichung bestehen:

Fig. 59.




$$\frac{1}{b} + \frac{1}{g} = \frac{1}{p}$$

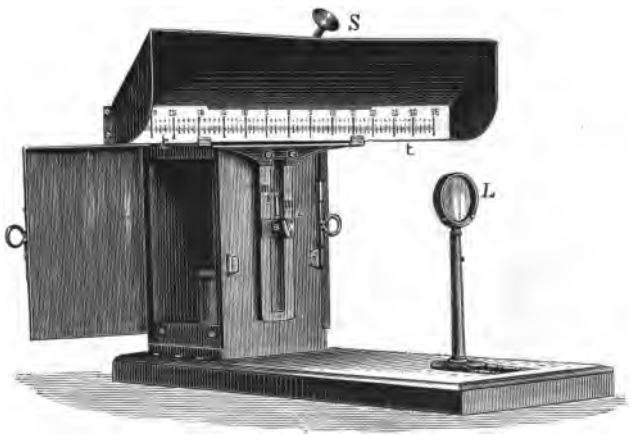
Fig. 60 zeigt eine compendiöse Zusammenstellung von Lampe, Scale und Schirm nach Siemens und Halske. Die Spalte $m_1 m_2$ ist in verticaler Richtung verschiebbar und wird durch die Schraube $x$ fixirt. Der drehbare Knopf $S$ sitzt an einer Achse fest, die mittelst eines Triebes eine an der Rückseite der Scala $t t$ befestigte Zahnstange bewegt.

Dadurch ist es möglich, die Scala $t$ sammt der darüber befindlichen geschwärzten Blende seitlich zu verschieben.

Die Linse $L$ sitzt auf einer Messingsäule, deren Fuss zwischen Coulissen verschiebbar ist, so dass man die Distanz zwischen Linse und Spalte etwas verändern kann.

Von hoher Bedeutung für die Schnelligkeit des Kabelsprechens ist die Zeit, in welcher die abgelenkte Magnetnadel zur Ruhe kommt. Bei einem gewöhnlichen

Fig. 60.



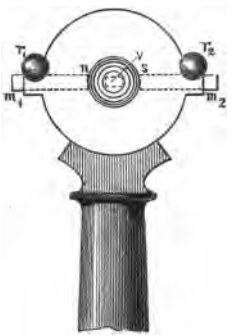

Galvanometer schwingt die durch einen Stoss aus ihrer Ruhelage gebrachte Magnetnadel oft sehr lange hin und her. Um dies bei Sprechgalvanometern zu vermeiden, hat man Dämpfungen mannigfacher Art verwendet. Man umgibt z. B. die Magnetnadel mit einem Kupfergehäuse, das die Bewegung derselben in bekannter Weise verzögert. Auch hat man mit vorzüglichem Erfolge Flüssigkeiten zur Dämpfung verwendet. Die Firma Siemens Brothers hat z. B. an den für die American-Cable-Company ge-

bauten Sprechgalvanometern eine Glycerindämpfung angebracht.*)

Fig. 61 zeigt die Vorderansicht eines derartigen Instrumentes. Die Messingröhre, in welcher die Magnetnadel schwingt, wird mit verdünntem Glycerin angefüllt. Der Gang der Lichtstrahlen erleidet durch die Flüssigkeit keine wesentliche Modification.

Die Magnetnadel wird durch zwei kleine, äusserst kräftige Stahlmagnete $m_1$ $m_2$ in einer vom Erdmagnetismus unabhängigen Lage erhalten. Die Pole $n$ $s$ der beiden Richtmagnete ragen bis nahe an die Messingröhre, welche das Magnetspiegelchen $v$ umfasst.

Fig. 61.



Um die Empfindlichkeit des Apparates nach Belieben modificiren zu können, sind die Richtmagnete verschiebbar. Die Verschiebung wird durch Drehung der Knöpfe $r_1$ und $r_2$ bewirkt, wobei ganz kleine Zahnräder in eine Verzahnung der oberen Fläche der Magnete eingreifen.

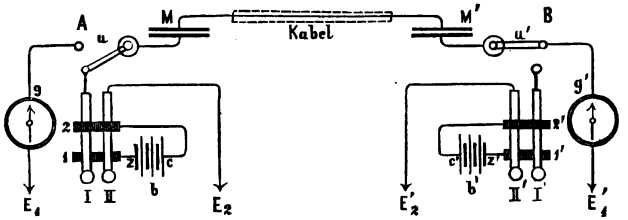
### 3. Schaltung der Kabelstationen.

Als Stromerzeuger genügt für den Betrieb der längsten Kabellinien eine kleine Zink-Kupferbatterie von fünf bis zehn Elementen. Beim Telegraphiren wird die Leitung mit Hilfe eines höchst einfachen Doppeltasters

*) Tobler, Berliner »Elektrotechnische Zeitschr.«, 1884, S. 74.

abwechselnd mit dem positiven und negativen Pole der Batterie oder mit der Erde verbunden. Die ersten Versuche mit dem transatlantischen Kabel zeigten, dass zwischen den in Irland und Neufundland versenkten Erdplatten eine nicht unbedeutende elektrische Spannungsdifferenz herrsche, so dass, wenn die beiden Kabelenden mit der Erde verbunden waren, auch ohne Vermittlung einer Batterie elektrische Ströme von ziemlich variabler Intensität auftraten. Varley hat nun durch Zwischen-

Fig. 62.




schaltung eines Condensators in höchst sinnreicher Weise das Auftreten von Erdströmen unmöglich gemacht.

In Fig. 62 ist die Schaltung einer modernen Kabelstation abgebildet.

In jeder der beiden Stationen *A* und *B* befindet sich ein Sprechgalvanometer *(g, g')*, ein Doppeltaster *(I II, I' II')*, die Batterie *(z c, z' c')* und ein Umschalter *(u, u')*. So lange nicht gearbeitet wird, stehen beide Umschaltekurbeln in der Lage *u'*. Von den Drehpunkten der Umschaltekurbeln führen die Leitungen zu den mächtigen Condensatoren *M* und *M'*, die andererseits mit dem Kabel verbunden sind. Will Station *A* nach *B* sprechen,

so wird die Umschaltekurbel *u* in die gezeichnete Lage gebracht und durch abwechselndes Niederdrücken der Taste *I* oder *II* die Leitung mit dem negativen oder positiven Pol der Batterie *b* in Verbindung gesetzt. Im Ruhezustand legen sich beide Tasten *(I* und *II)* an die Schiene 2 an. Letztere ist mit dem positiven, die Schiene 1 mit dem negativen Pol der Batterie *b* verbunden. Drückt man die Taste *I* nieder, so wird hiedurch der negative Pol *(z)* der Batterie mit der Umschaltekurbel verbunden. Der positive Pol *(c)* ist durch die Metallschiene 2 und Taste *II* nach $E_2$ zur Erde abgeleitet. Somit strömt negative Elektricität zum Condensator *M*, positive zur Erde. Drückt man hingegen die Taste *II*, so ergibt sich die umgekehrte Stromrichtung. Dann ist *z* mit der Erde *($E_2$)* und *c* mit dem Condensator *M* verbunden, dem nun positive Elektricität zuströmt. In ganz gleicher Weise ist der Doppeltaster in Station *B* eingerichtet.

Verfolgen wir nun weiter den Verlauf der Ströme in den Condensatoren und im Kabel.

So lange die Taste *II* niedergedrückt bleibt, fliesst ein positiver Strom von rasch abnehmender Intensität in die eine (in der Figur die untere) Belegung des Condensators *M*.

Durch elektrostatische Induction wird nun in der oberen Belegung negative Elektricität gebunden und eine nahezu gleiche Quantität positiver Elektricität frei, die durch das Kabel dem zweiten Condensator *M'* zuströmt und in der untern Belegung desselben wieder durch Influenz negative Elektricität binden muss, positive Elektricität freigibt, die dann als kurz dauernder Strom auf das

Galvanometer $g'$ einwirkt und den Spiegel desselben ablenkt. Lässt man nun die Taste *II* los, so wird hiedurch unter Vermittlung der Metallschiene 2 die untere Belegung des Condensators $M$ mit der Erde $(E_2)$ leitend verbunden. Die positive Elektricität strömt ab und gibt nun die auf der oberen Belegung des Condensators $M$ früher gebundene negative Elektricität frei. Die letztere strömt nun durch das Kabel zum Condensator $M'$, neutralisirt die in der oberen Belegung desselben vorhandene positive Elektricität, wodurch die negative Elektricität der unteren Belegung in $M'$ frei wird, durch die Galvanometerspule $g'$ zur Erde abfliesst und der Magnetnadel eine, der früheren entgegengesetzte Bewegung verleiht. Die Zeit, während welcher die Taste niedergedrückt wird, muss derart bemessen sein, dass die Stromverhältnisse nahe jenen der Stromcurve $p\,k$ in Fig. 51, S. 184, entsprechen. Der Entladungsstrom reicht dann gerade hin, um die Nadel in ihre Ruhelage zurückzuführen. Drückt man die Taste *I*, so sind die Vorgänge ganz analog, nur ist der zuerst auftretende Strom negativ.

In gleicher Art spricht man von *B* nach *A*. Es ist dann der Kurbelumschalter $u'$ in die Lage zu bringen, welche früher die Kurbel $u$ hatte, und vice versa. Die Condensatoren $M$ und $M'$ müssen ziemlich bedeutende Capacitäten besitzen. So sind z. B. für die 1881 und 1882 von der American-Telegraph and Cable-Company zwischen Cornwall und Neuschottland versenkten transatlantischen Kabel Condensatoren von je 130 Mikrofarad's in Anwendung gebracht worden. Jeder Condensator besteht aus 13 Kästchen von 50 cm Höhe, 60 cm Länge und 10 cm Breite, in denen die Papier- und Stanniol-

blätter, welche die Ladung aufzunehmen haben, isolirt aufeinander geschichtet sind.*)

Wie aus Fig. 62, S. 205, zu entnehmen ist, bleibt das Galvanometer $g$ der Station $A$ so lange ausgeschaltet, als $A$ nach $B$ spricht. Bei dieser Einrichtung ist das Mitlesen der nach Station $B$ gesendeten Zeichen in Station $A$ unmöglich. Da es aber höchst wünschenswerth erscheint, von der gegebenen Depesche gleichzeitig in der Abgangsstation eine Copie zu erhalten, wie dies z. B. bei der gewöhnlichen Morseschaltung geschieht, hat man eigenthümliche Doppeltaster construirt, welche nebst dem Kabelstrome gleichzeitig noch einen Lokalstrom schliessen und die automatische Wiedergabe der Kabeldepesche durch einen in der Station befindlichen Schreibtelegraphen vermitteln.

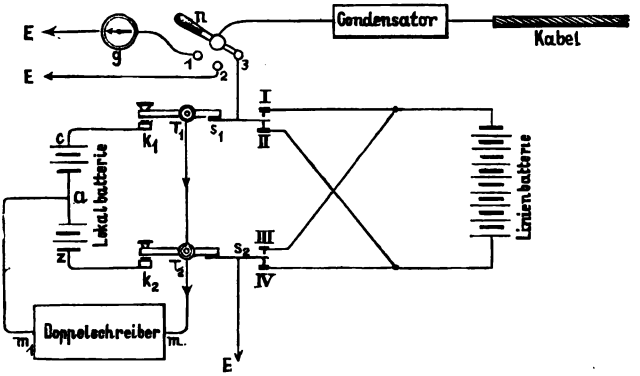
Eine derartige Vorrichtung wurde von Saunders, dem Elektriker der Eastern-Telegraph-Company, angegeben und von Dr. Tobler im II. Hefte der Berliner Elektrotechnischen Zeitschrift 1884 beschrieben.

Fig. 63 zeigt die von dem genannten Elektriker angewendete Schaltung. Die beiden, auf einem Brettchen neben einander montirten Taster $T_1$ und $T_2$ tragen die Contactfedern $s_1$ und $s_2$ und sind gegen die letzteren durch eine Hartgummi-Zwischenlage isolirt. Die Federn $s_1$ und $s_2$ spielen zwischen vier Schraubenspitzen (*I, II, III, IV*), von denen die aus der Figur ersichtlichen Verbindungen zu der Sprechbatterie (Linienbatterie) führen. Die Ambosse $K_1$ und $K_2$ sind mit einer Localbatterie verbunden, von deren Mitte eine Zweigleitung zu einem

*) Vergl. Tobler, Berliner »Elektrotechnische Zeitschrift« 1884, S. 76.

Siemens'schen Doppelstiftschreiber führt. Die zweite Klemme des Doppelschreibers ist mit den Drehpunkten der Tasterhebel verbunden. Durch Drehung der Umschaltekurbel $n$ kann man das Kabel nach Belieben mit einem der Contactpunkte 1, 2 und 3 verbinden. Von 1 führt eine Leitung durch das empfangende Galvanometer $g$ zur Erde. 2 ist ebenfalls mit der Erde, 3 mit

Fig. 63.




der Feder $s_1$ verbunden. Die Feder $s_2$ wird zur Erde abgeleitet. Gibt die Station ein Telegramm ab, so steht der Umschaltehebel auf 3; empfängt sie, so muss derselbe auf 1 gerückt werden und passirt während der Drehung den zur Entladung dienenden Contact 2.

Das Spiel der Federn $s_1$ und $s_2$ ist jenem der Taster *I* und *II* in Fig. 62 analog. Man braucht nur an Stelle der Schiene 2 in Fig. 62 die Contactschrauben *II* und *IV* in Fig. 63, an Stelle der Schiene 1 (Fig. 62) die Schrauben *I* und *III* zu setzen.

Der Localstrom nimmt folgenden Verlauf: Drückt man $T_1$, so geht der Strom von der Kupferplatte $c$ zum Amboss $K_1$, durch den Taster $T_1$ bis zum Drehpunkte desselben, sodann zum Drehpunkte von $T_2$ und in der Richtung des Pfeiles zu der einen Klemme ($m$) des Doppelschreibers, durchläuft die Elektromagnetspulen des letzteren und geht sodann von der zweiten Klemme $m_1$ zum Abzweigungspunkte $a$ und in die Batterie $ac$ zurück. Drückt man $T_2$, so geht ein Strom von entgegengesetzter Richtung über $K_2\, T_2\, m\, m_1$ nach $a$ und zur Batterie $az$ zurück.

Fig. 64.

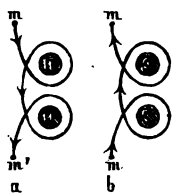
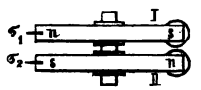



Fig. 65.



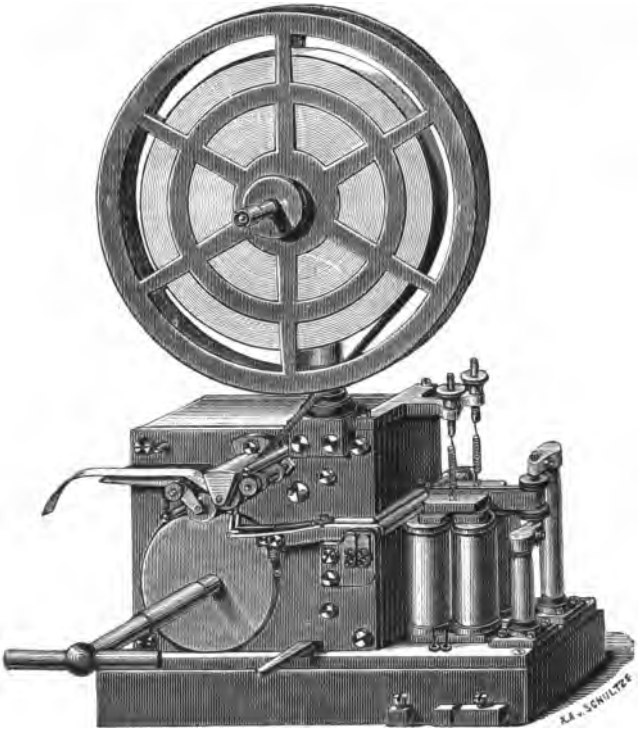

Der Doppelschreiber enthält zwei Elektromagnete, deren neben einander liegende Enden durch den Localstrom gleichartige Polaritäten erhalten. Die Art der Drahtwicklung ist aus Fig. 64 $a$ und $b$ zu entnehmen.

Fig. 65 zeigt in schematischer Zeichnung die Anordnung der polarisirten Morsehebel.

Ueber jedem der beiden Elektromagnetpole schwebt ein permanent magnetischer Morse-Schreibhebel (Fig. 65). Für die Stromrichtung in Fig. 64 $a$ wird Hebel $I$, für jene in Fig. 64 $b$ Hebel $II$ angezogen. Auf einem über den beiden Spitzen $\sigma_1$ und $\sigma_2$ laufenden Papierstreifen kommen zwei Punktreihen zustande, welche in Stein-

heil'scher Doppelzeilenschrift*) das abgegebene Telegramm aufschreiben. Die Details des Siemens'schen Doppelstift-

Fig. 66.



schreibers sind aus der in Fig. 66 dargestellten perspectivischen Ansicht desselben zu entnehmen.

*) Steinheil verwendete nachstehendes Alphabet:

| *A* | *B* | *C, K* | *D* | *E* | *F* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| . . | . . . | . . . | . . | . | . . . | u. s. w. |

Vergl. Dub, Die Anwendung des Elektromagnetismus. Berlin, Springer.

Aus den beiden Galvanometerablenkungen »rechts« und »links« sind ebenso, wie aus den Elementen der Morseschrift »Punkt« und »Strich«, sämmtliche telegraphische Zeichen combinirt worden. Die Sprechgeschwindigkeit beträgt für das atlantische Kabel 15 bis 17 Worte per Minute.

### 4. Automatische Fixirung der telegraphischen Lichtzeichen.

Das stete, aufmerksame Beobachten des vom Spiegelgalvanometer entworfenen, hin und her zuckenden Lichtbildes ist für das Auge sehr ermüdend, und man war deshalb schon seit langer Zeit darauf bedacht, ein Verfahren zu ersinnen, mit Hilfe dessen eine selbstwirkende Registrirung der Lichtzeichen ermöglicht würde. Die bisher in Anwendung gebrachten Methoden bestanden: 1. in der photographischen Fixirung des Lichtbildes auf einem in verticaler Richtung langsam sich fortbewegenden lichtempfindlichen Papierstreifen; 2. in der Anwendung eines modificirten Radiometers.

Die erste Methode wird seit Jahren mit vorzüglichem Erfolge in magnetischen Observatorien*) zur Registrirung der Schwingungen von Magneten angewendet. Mr. Bardonnaut, Post- und Telegraphendirector des unteren Seine-Departements, brachte dieselbe für den Betrieb von Kabellinien in Vorschlag. Die Einrichtung des Apparates ist nach einer Mittheilung des »Archiv für Post und Telegraphie«**) beiläufig folgende: An die Stelle des

*) Z. B. in Wien, »Hohe Warte«.

**) Beiheft zum Amtsblatte des Reichspostamtes. Berlin, Juni 1882.

von Thomson verwendeten Planspiegels tritt ein sphärischer oder parabolischer Spiegel mit nicht unbeträchtlicher Brennweite.

Der Brennpunkt fällt während der schwingenden Bewegung des Spiegels auf eine Rolle, über die ein chemisch präparirter Papierstreifen durch ein Uhrwerk gleichmässig fortbewegt wird. Die von einer genügend intensiv leuchtenden Petroleum- oder einer elektrischen Lampe auf den Spiegel geworfenen und von diesem reflectirten Strahlen treffen jedoch den Papierstreifen nicht voll, sondern nur durch eine auf der Längsrichtung des letzteren senkrecht stehende Spalte. Auf dem durch die Spalte der Einwirkung des Lichtes ausgesetzten Theile des Streifens entsteht bei der Bewegung des Spiegels eine dunkle Linie, deren Gestalt von der Bewegung des Lichtbildes und der Laufgeschwindigkeit des Papierstreifens abhängt und beiläufig einer Sinuslinie entspricht. Bardonnaut glaubt mit dieser Vorrichtung die Sprechgeschwindigkeit bedeutend erhöhen zu können, da der lichtempfindliche Streifen auch noch sehr rasch aufeinander folgende Zeichen registrirt, die vom Auge eines Beobachters nicht mehr getrennt wahrgenommen werden könnten.

Verfasser kann dieser Ansicht nicht beistimmen, da die Sprechgeschwindigkeit bei langen Unterseekabeln nicht allein von der Fähigkeit des Beobachters, rasch aufeinander folgende Zeichen zu unterscheiden, sondern in erster Linie von der Ladungszeit abhängig ist. Aus diesem Grunde haben auch automatische Zeichensender nur auf nicht allzulangen Kabellinien dauernd Anwendung gefunden.

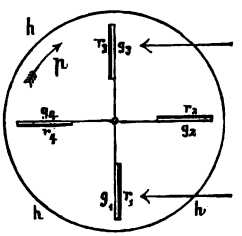
Ein zweiter elektrophotographischer Apparat zum Kabelbetriebe wurde von Chameroy construirt und war

in der elektrotechnischen Ausstellung zu Paris, 1881, exponirt. Die Hauptbestandtheile desselben sind ein Elektromagnet und ein kleiner Eisenkern, durch dessen Bewegung ein, an dem unteren Ende mit einem viereckigen Ansatze versehenes Pendel in Schwingung geräth. In der Ruhelage verdeckt das Pendel eine Oeffnung, deren Mittelpunkt mit dem Brennpunkte einer Linse zusammenfällt. Schon ein sehr schwacher Strom erzeugt in dem Elektromagnet so viel Magnetismus, dass der Eisenkern angezogen und das Pendel aus seiner Ruhelage gebracht wird. Die Lichtstrahlen, welche durch die nunmehr unverdeckte Oeffnung einfallen, treffen auf einen hinter der Oeffnung über eine Rolle gleichmässig sich fortbewegenden Papierstreifen, der mit einer Höllenstein- oder Schwefelcalciumlösung getränkt ist, und bewirken eine chemische Zersetzung der genannten Stoffe. Sobald der Strom unterbrochen wird, kehrt der mit einer Feder verbundene Eisenkern und mit diesem das Pendel in seine normale Lage zurück; die Oeffnung wird durch das Pendel wieder verdeckt und die Lichtwirkung hört auf. Ist zur Zubereitung des Papierstreifens Höllensteinlösung verwendet worden, so kommen Zeichen, welche auf chemischem Wege fixirt werden können, zum Vorschein; bei Benützung von Schwefelcalciumlösung entsteht eine sofort lesbare Schrift, welche im Dunkeln leuchtet, doch nach wenigen Stunden wieder verschwindet.

Ein Apparat, der unter Vermittlung eines eigenthümlichen Radiometers die Zeichen des Sprechgalvanometers registrirt, war auf der internationalen elektrischen Ausstellung in Wien 1883 im Pavillon des französischen Handelsministeriums zu sehen. Bekanntlich besteht das

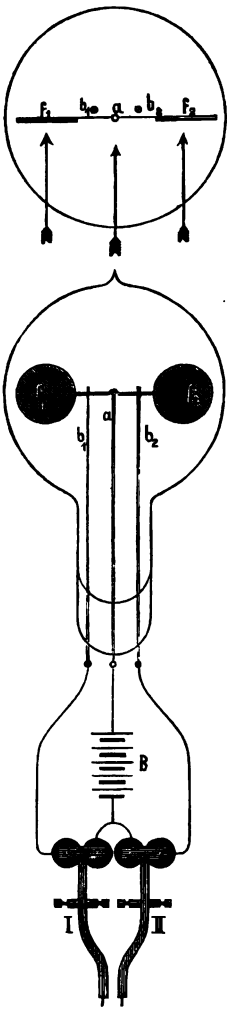
Radiometer von Crookes aus einem kugeligen, möglichst luftleer gepumpten Glasgefäss, in welchem ein sehr leichtes, aus Glimmer und Platindraht geformtes Rädchen unter dem Einflusse von Lichtstrahlen*) rotirt. Fig. 67 zeigt den Horizontalschnitt eines vierflügeligen Radiometers. Die Glimmerplättchen $g$ sind auf der einen Seite berusst und durch ein Kreuz aus Platin- oder Aluminiumdrähten zu einem sehr leichten Rädchen vereinigt, dessen Zapfen sich in zarten Lagern aus Glas mit geringer Reibung drehen. Die von irgend einer Licht- oder Wärmequelle herrührenden Strahlen durchdringen die Glashülle und fallen zum Theile auf die berussten, zum Theile auf die blanken Flächen der Glimmertäfelchen. Die berussten Flächen absorbiren die auffallenden Wärmestrahlen in höherem Masse als die unberussten, und es wird z. B. die Luftschicht gegenüber $r_1$ rascher erwärmt als die Luftschicht $g_3$. Die erwärmten Luftschichten dehnen sich aus, und zwar um so mehr, je stärker sie erwärmt wurden, und üben dabei sowohl gegen die umgebenden Lufttheilchen als auch gegen die Glimmerplatten einen Druck aus, durch den die letzteren in der Richtung des Pfeiles $p$ in Bewegung gesetzt werden, da der Druck gegen $r_1$ jenen gegen $g_3$ überwiegt. Für die Zwecke der Kabeltelegraphie dient ein zweiflügeliges Radiometer, wie dies in Fig. 68 dargestellt ist. Dasselbe wird gegenüber dem Sprechgalvanometer derart aufgestellt, dass das vom Spiegelchen reflectirte

Fig. 67.




*) Besser gesagt Wärmestrahlen.

Fig. 68.



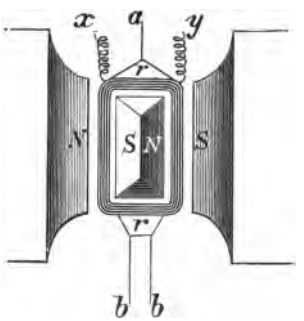

Lichtbild im Anfang zwischen die beiden Flügel $f_1$ und $f_2$ fällt. Bewegt sich das Lichtbild nach rechts, so fallen Strahlen auf die berusste Fläche $f_2$, welche nun zurückweicht. Dasselbe gilt von $f_1$, wenn das Lichtbild nach der linken Seite wandert. Durch eine sehr schwache Feder wird der Radiometerflügel $f_1$ $f_2$ immer wieder in die gezeichnete Ruhelage zurückgeführt, wenn das Lichtbild die Nullstellung erreicht hat. Der Radiometerflügel balancirt auf dem in eine feine Spitze endigenden Platindraht $a$, der nebst den beiden Drähten $b_1$ und $b_2$ in die Glashülle eingeschmolzen ist. $f_1$ und $f_2$ können sich so weit nach rückwärts bewegen, als dies die Drähte $b_1$ und $b_2$ erlauben. Stösst dann z. B. der Platinarm des Flügels $f_2$ an den Draht $b_2$, so wird dieser mit $a$ leitend verbunden und dadurch eine Localbatterie geschlossen, die den Morseapparat *II* bewegt. Ebenso tritt durch Herstellung des Contactes zwischen $a$ und $b_1$ der Morsehebel *I* in Wirksamkeit. Die beiden Hebel schreiben dann die Depesche auf einem gemeinsamen

Papierstreifen in Steinheil'scher Doppelzeilenschrift nieder.

### 5. W. Thomson's Heber-Schreibapparat.

Weit sicherer und einfacher als mit den im vorigen Capitel beschriebenen Vorrichtungen wird die Registrirung einer Kabeldepesche durch den von W. Thomson 1876 erfundenen Heber-Schreibapparat (Syphon-Recorder) erreicht. Derselbe enthält eine sehr leichte rahmenförmige Spule $r$ (Fig. 69), die in einem kräftigen magnetischen Felde schwebt und von einem dünnen Coconfaden $a$ getragen wird. Um dem Rähmchen eine bestimmte Ruhelage zu geben, sind am unteren Ende zwei Coconfäden $b\,b$ angebracht, die durch kleine Gewichtchen von beiläufig 5 gr, welche in fixen Führungen beweglich sind, gespannt werden. Der positive oder negative Kabelstrom tritt bei $x$ in die Spule und verlässt dieselbe durch den Draht $y$. Durchfliesst der Strom die Spule im Sinne der Uhrzeigerbewegung (von links über oben nach rechts), so wird bei der angedeuteten Lage der Magnetpole der linke Theil des Rahmens hinter die Zeichnungsebene, der rechte vor dieselbe bewegt werden. Die Umkehrung der Stromrichtung veranlasst eine entgegengesetzte Drehung des Rähmchens. Die Bewegung des Rahmens wird durch einen horizontal gespannten Coconfaden auf einen sehr

Fig. 69.



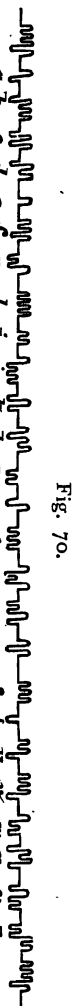


Fig. 70.

dünnen Glasheber übertragen, durch dessen Mündung eine Schreibeflüssigkeit gegen einen sich langsam fortbewegenden Papierstreifen ausfliesst. Dabei darf die Spitze des Hebers nicht mit dem Papierstreifen in Berührung kommen. Um die durch die Haarröhrchenanziehung zurückgehaltene Flüssigkeit zum Ausströmen zu veranlassen, werden Heber und Papierstreifen entgegengesetzt elektrisirt. Durch die Anziehung der ungleichnamigen Elektricitäten wird dann die Flüssigkeit in Form von feinen Tröpfchen gegen das Papier geschleudert.

So lange der Heber sich in Ruhe befindet, entsteht auf dem Papierstreifen eine gerade Linie. Durch positive und negative Ströme wird die Hebermündung nach rechts oder links abgelenkt, und es entstehen dann wellenförmige Linien, aus denen sich das ganze Alphabet zusammensetzt.

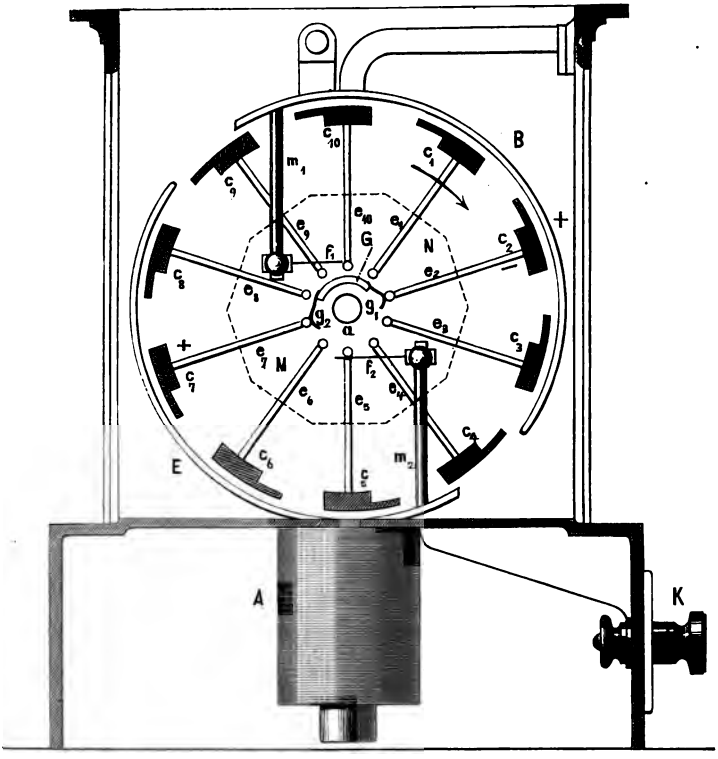
Fig. 70 zeigt das Alphabet des Thomson'schen Heber-Schreibapparates. Dasselbe entsteht aus dem Morsealphabet, indem man die Punkte durch nach aufwärts gehende Wellenlinien (Wellenberge), die Striche durch Wellenthäler ersetzt.

Am Anfang und Ende der Zeile (Fig. 70) befindet sich das Zeichen »Verstanden«.

Zur Elektrisirung der Tinte dient eine Maschine (mouse-mill), welche nach dem Princip der Varley'schen Influenzmaschine eingerichtet

ist.*) Fig. 71 zeigt den Querschnitt derselben in schematischer Zeichnung. In einem von zwei cylindrischen Metallmänteln *B*

Fig. 71.




und *E* umschlossenen Raume rotirt ein aus zehn fassdaubenartig aneinander gereihten Eisenbarren *c* bestehendes Rad. Die Eisenbarren sind durch Metallspeichen an einer

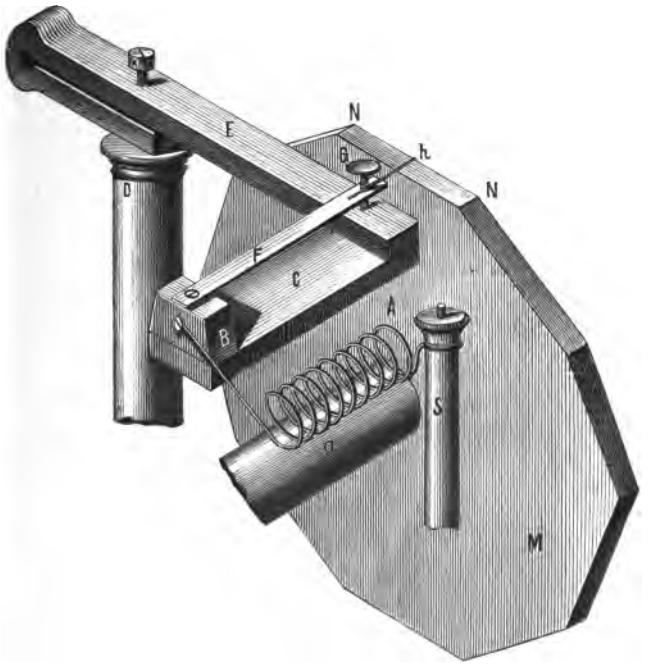
*) Vergl. Elektrotechnische Bibliothek, Bd. XXII, S. 77.

Hartgummischeibe befestigt. Das ganze System wird durch den Elektromagnet *A* in Bewegung gesetzt. Der Strom in den Elektromagnetwindungen wird mit Hilfe eines Interruptors abwechselnd geöffnet und geschlossen, und zwar muss die Stromunterbrechung immer kurz vor dem Passiren einer Eisenbarre erfolgen, die Stromschliessung hingegen dann, wenn gerade die Mitte des Zwischenraumes zwischen zwei Eisenbarren den Magnetpol passirt hat. Wir haben also einen höchst einfachen elektromagnetischen Motor vor uns, dessen Function lebhaft an La Cour's »phonisches Rad« erinnert. Fig. 72 zeigt die Details des Stromunterbrechers. Von der Batterie, die den Elektromotor treibt, führt die Zuleitung zu der Klemme *K* (Fig. 71), von dieser zum Elektromagnet *A* und weiters zur Messingsäule *S* in Fig. 72.

Ein schraubenförmiger Leitungsdraht *A* führt den Strom weiter zu einem Messingprisma *B*, das auf dem Ebonitstück *C* befestigt ist. Das letztere wird durch die leitende Tragsäule *D* unter Vermittelung eines an dieser befestigten Messingarmes *E* gehalten. An *B* ist die Feder *F* befestigt. Letztere trägt an ihrem Ende die Schraube *G* und einen Metallstift *h* von der Dicke einer Stricknadel. An der Hauptdrehungsachse *a* der Elektrisirmaschine (Fig. 71 und 72) sitzt die Scheibe *MNN*, deren Peripherie ein reguläres Zehneck bildet. Durch die Feder *F* wird der Stift *h* gegen den Rand dieser Scheibe gedrückt, und wenn die letztere zu rotiren beginnt, oscillirt der Stift *h* auf- und abwärts, und theilt seine Bewegung auch der Schraube *G* mit, deren Spitze in aufeinander folgenden gleichen Zeiträumen die Metalllamelle *E* berührt, und den Magnetisirungsstrom öffnet

und schliesst. Um die Contactstelle vor allzu rascher Verbrennung durch die überspringenden Inductionsfunken zu schützen, macht man die contactgebende Schraubenspitze aus Platin. Der durch die Säule *S* eintretende

Fig. 72.




Strom verlässt die Unterbrechungsvorrichtung durch die Säule *D* und wird zu einer zweiten (in Fig. 71 verdeckten) Klemmschraube geführt.

Betrachten wir nun die Function der elektrischen Mühle als Spannungs-Elektricitätserzeuger.

An den beiden Metallmänteln $B$ und $E$ sind die metallenen Säulen $m_1$ und $m_2$ leitend befestigt. Die letzteren tragen Schleiffedern $f_1$ $f_2$, an welchen cylindrische Fortsätze der Speichen $e_1$ $e_2$ . . ., welche auf diesen senkrecht stehen, vorbeistreifen. Zwei andere Federn $g_1$ $g_2$ werden durch das feststehende isolirte Metallstück $G$ (Fig. 71) getragen.

Ertheilt man dem Metallstücke $B$ im Anfange eine geringe positive Ladung, so wird durch Influenz in $c_2$ negative, in $c_7$ positive Elektricität entstehen. Durch die Drehung der Speichen im Sinne des Pfeiles gelangen der Reihe nach die übrigen Eisenbarren in die nämliche Lage. $c_2$ hat inzwischen die Feder $f_2$ erreicht und seine negative Elektricität an den Metallmantel $E$ abgegeben. Dies geschieht auch durch die nachfolgenden Eisenbarren, so dass die elektrische Spannung auf $E$ fortwährend wächst.

Die negative Ladung, welche $E$ erreicht hat, wirkt ihrerseits auch influenzirend auf die nahestehenden Barren, und es wird durch einen, dem soeben beschriebenen ganz analogen Vorgang auch die positive Ladung von $B$ verstärkt. Verbindet man einen der Metallmäntel $B$ oder $E$ mit dem Heber, den zweiten mit der Erde und die Unterlage des Papierstreifens ebenfalls mit der Erde, so geht ein continuirlicher Funkenregen von der Heberspitze auf das Papier über, der die Tintentröpfchen mit sich reisst.

Als Schreibeflüssigkeit dient eine Lösung von Anilinblau in Wasser.*) Am rückwärtigen Ende der Achse des Elektromotors ist ausserdem eine Rolle $J$ (Fig. 73) angebracht, welche durch eine Schnur die Rolle $J'$ in

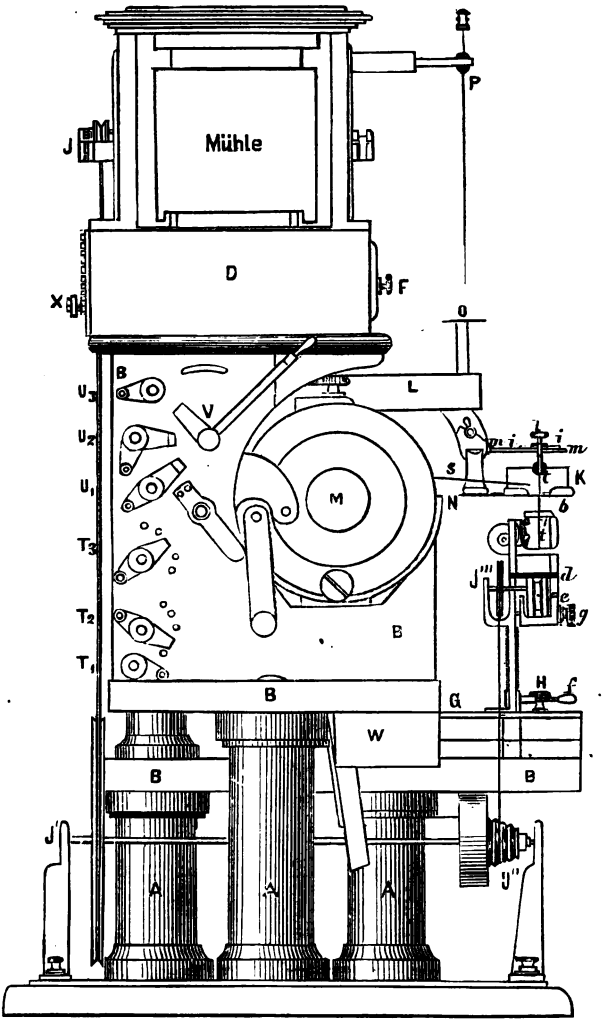
*) Eine Messerspitze Anilinblau genügt für 0·3 Liter Wasser.

Drehung versetzt. Durch die letztere wird unter Vermittelung der Welle $J' J''$ und des Schnurlaufes $J'' J'''$ der Papierstreifen fortgezogen.

Die auf dem Metallmantel $B$ (Fig. 71) angesammelte Spannungselektricität wird nicht direct dem Tintengefässe zugeleitet, sondern gelangt zuerst zu einem steifen Draht $P$ (Fig. 73), der mit einem isolirenden Handgriffe versehen ist und dessen unteres Ende einer Metallplatte $O$ gegenübersteht. Von $P$ geht nun Elektricität durch die Luft zur Platte $O$ über und wird von dieser auf die Schreibeflüssigkeit übertragen. Die leitende Unterlagsrolle des Papierstreifens ist mit der Erde verbunden. Durch Veränderung des Abstandes zwischen $P$ und $O$ lässt sich die elektrische Spannung reguliren. Dieselbe darf eine gewisse Grenze nicht übersteigen, da heftige Funkenentladungen den Heber zu seitlichen Schwankungen veranlassen, durch welche die Deutlichkeit der Zeichen leidet.

Die Geschwindigkeit der Rotation in der elektrischen Mühle lässt sich dadurch reguliren, dass man in den Stromkreis des Elektromagnets $A$ (Fig. 71) verschiedene Widerstände einschaltet. Dieselben befinden sich im Innern des Kästchens $D$ (Fig. 73) und werden durch Bewegung des auf mehreren Contacten schleifenden Hebels $x$ aus- und eingeschaltet. Eine bleierne Schublade $F$ enthält Bimssteinstücke, die mit concentrirter Schwefelsäure getränkt sind. Dadurch bleibt die Luft im Innern des Glaskästchens, das die elektrische Mühle umschliesst, vollkommen trocken und die Wirksamkeit der Elektrisirmaschine leidet nicht, wenn auch der Raum, in welchem der Syphon-Recorder aufgestellt ist, Wasserdünste enthält. In sehr kalten Räumen wird überdies in das Glaskäst-

Fig. 73.



chen der Elektrisirmaschine ein warmer Luftstrom eingeleitet.

Da gewisse Papiersorten dem Durchgange selbst hochgespannter Elektricität einen sehr grossen Widerstand entgegensetzen, hat man es nöthig gefunden, dieselben anzufeuchten.

Am besten dient eine Lösung von zwei Theilen salpetersaurem Ammoniak in 100 Theilen Wasser.*) Auch die Anfeuchtung durch Wasserdampf hat sich zweckdienlich erwiesen. Man stellt dann unter den Papierstreifen ein mit Wasser gefülltes Gefäss, das durch eine Gas- oder Spiritusflamme erwärmt wird.

Das magnetische Feld, in welchem das vom Kabelstrome durchflossene leichte Drahträhmchen (*r r*, Fig. 69, S. 217) schwebt, wird entweder durch kräftige Stahl- oder durch Elektromagnete erzeugt.

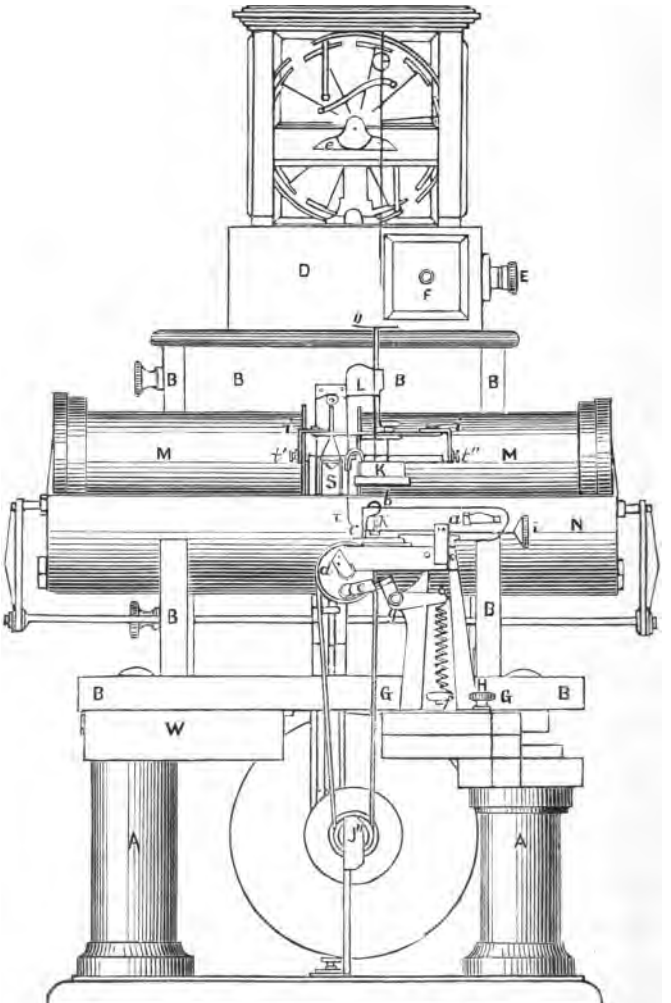
Fig. 73 und 74 zeigen die letztere Anordnung. Die beiden Elektromagnetspulen *M M* ruhen in einer dickwandigen Rinne *N* aus weichem Eisen, die als Anker dient. (Siehe Fig. 74 auf der folgenden Seite.)

Die Enden der Drahtwindungen der Elektromagnete sind zu den Klemmen $U_1$ $U_2$ $U_3$ (Fig. 73) geführt, welche die von der Batterie kommenden Zuleitungsdrähte festhalten. Durch den Commutator *V* wird die Batterie, welche zur Anregung der Elektromagnete dient, entweder ganz oder zur Hälfte eingeschaltet.

Die Batterie besteht aus eigenthümlichen grossplattigen, nach Thomson's Angaben modificirten Daniell-Elementen von sehr geringem Widerstande. Eine Be-

*) Ternant, Le Siphon-Recorder. Paris, Masson, 1882.

Fig. 74.



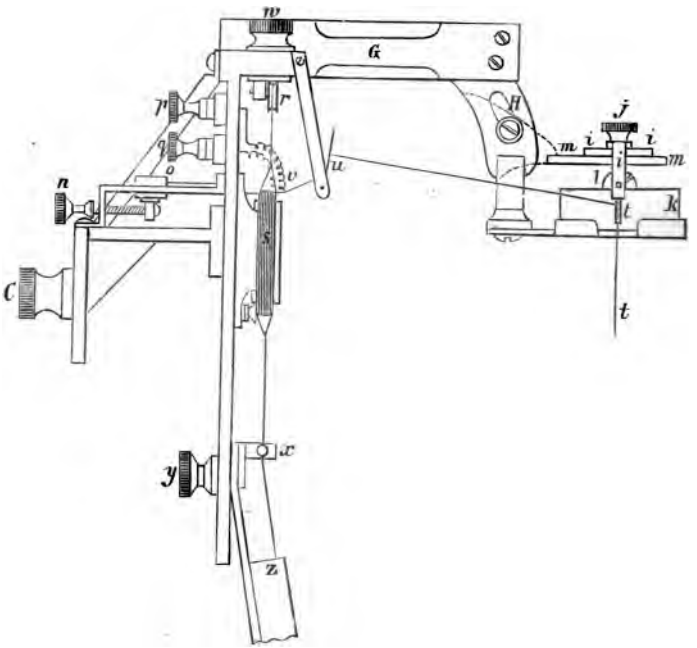
schreibung derselben findet sich im V. Bande der Elektrotechnischen Bibliothek, S. 206.*)

Die Rinne $N$ wird durch zwei Lager $B\,B$ unterstützt, die an einer gemeinsamen Grundplatte $B$ befestigt sind. Letztere ruht auf den Holzsäulen $A$. Eine Schublade $W$ ist zur Aufnahme von Werkzeugen und anderen Utensilien bestimmt. Die dreieckige Platte $G$ trägt den zur Fortbewegung des Papierstreifens dienenden Mechanismus. Sie ist auf ihrer Unterlage verschiebbar, um eine feine Einstellung zu ermöglichen, und wird durch die Schraube $H$ festgeklemmt. Der Papierstreifen läuft von einer (in Fig. 74 nicht gezeichneten) Rolle ab, und wird unter der Stahlfeder $a$ durchgezogen, läuft dann über die Führungsrolle $b$, welche mit der Schraube $k$ höher und niedriger gestellt werden kann, geht dann vertical nach abwärts unter der Spitze des Hebers $t$ vorbei, und wird von den beiden Rollen $d$ und $e$ erfasst. Die Rolle $d$ erhält durch eine Schnurtransmission von der Rolle $J''$ ihre Bewegung. Die Rolle $e$ wird durch den Winkelhebel $g$, unter Vermittelung der Spannfeder $f$, an die Rolle $d$ angepresst. Durch Drehung des Knopfes $f$ kann die Spannung der Feder nach Belieben verändert werden. Ueber der Führungsrolle $b$ befindet sich das Tintengefäss $k$, in welches der eine Arm des Hebers $t$ eintaucht. Der Heber ist an einem im Träger $i\,i$ horizontal gespannten feinen Drahte $t'\,t''$ befestigt und durch einen dünnen Coconfaden mit dem schwingenden Rähmchen $S$ (Fig. 74) verbunden. Das Tintengefäss ist an dem isoli-

*) Vergl. auch »Zeitschrift für Elektrotechnik«, herausgegeben vom Elektrotechnischen Verein in Wien. A. Hartleben. 1884. S. 335.

renden Arme $L$ aus Ebonit befestigt und wird von der Platte $O$ elektrisirt. Fig. 75 und 76 zeigen die Details der Aufhängevorrichtungen für das vom Kabelstrome durchflossene Drahträhmchen $S$ und den Heber $t$.

Fig. 75.

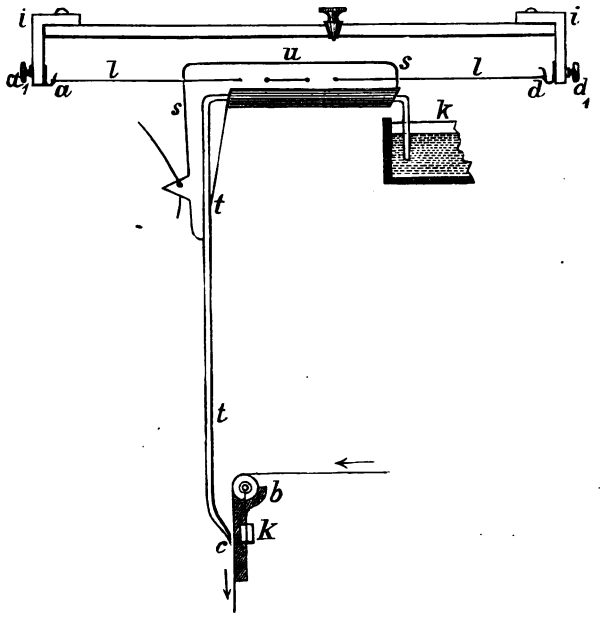



Das Rähmchen $S$ besteht aus beiläufig 20 Windungen 0·08 mm dicken Kupferdrahtes, die zusammengeklebt sind und durch ihre eigene Steifigkeit, ohne Vermittelung eines unterstützenden Rahmens, ihre Gestalt beibehalten. Der Faden, an welchem das Rähmchen auf-

gehängt ist, läuft über ein Röllchen $r$ und kann durch die Schraube $w$ nachgespannt werden.

Zwei parallele Fäden, die am unteren Ende des Rähmchens befestigt sind, werden durch die Gewichte $z$, welche in schiefliegenden Coulissen verschiebbar sind,

Fig. 76.




gespannt. Die Fäden sind durch Löcher im Cylinder $x$ hindurchgezogen. Der letztere lässt sich mit Hilfe der Klemmschraube $y$ an einer fixen Metallschiene verstellen, wodurch man die freie Länge der Fäden verändern und so die Dauer der Schwingungen des Rähmchens reguliren kann. Heber und Rähmchen sind durch den Cocon-

faden $v\,u\,t$ mit einander verbunden, und zwar unter Zwischenschaltung eines kleinen einarmigen Hebels $o\,u$. Dieser ist um $o$ drehbar. Beiläufig in der Mitte des Hebels ist der Faden $v\,u$, am Ende der Faden $u\,t$ befestigt. Durch diese Vorrichtung wird die Bewegung des Hebers im Verhältnisse der Hebelarme vergrössert. An manchen Apparaten hat man indess diesen Zwischenhebel (Multiplicator) weggelassen.

Die Schraube $n$ bewegt den Schlitten $o$, an dem ebenfalls ein mit dem Rähmchen verbundener Coconfaden befestigt ist, und dient zur feinen Einstellung des Rähmchens im magnetischen Felde.

Die Klemmen $p$ und $q$ führen zu den Zuleitungsdrähten des Rähmchens und stehen mit den Kurbeln $T_2$ und $T_3$ (Fig. 73) in leitender Verbindung.

Der Heber $t$, aus einem dünnen Glasröhrchen gebogen, ist mit Wachs an einem Träger $S\,S$ (Fig. 76) aus Aluminium befestigt. Durch den letzteren wird ein dünner Draht durchgezogen und an den von der Brücke $i\,i$ getragenen Stahlfederchen $a\,d$ befestigt. Durch Drehung der Knöpfe $a_1$ $d_1$ kann man den Draht tordiren und die Einstellung der Hebermündung auf die Mitte des Papierstreifens vornehmen.

Die Brücke $i\,i$ ist auf einer Unterlage $m\,m$ (Fig. 75) mit der Schraube $j$ befestigt und kann in ihrer Längsrichtung etwas verrückt werden. Hiedurch regulirt man die Entfernung zwischen der Mündung des Hebers und dem Papierstreifen.

Um den Heber aus dem Tintengefässe $k$ herauszunehmen, lüftet man die Schraube $H$ am Träger $G$ (Fig. 75) und schiebt den Schraubenbolzen $H$ sammt der

Platte *m* nach aufwärts. Durch eine Führung ist dafür gesorgt, dass sich während der Verschiebung der Träger *m* um eine Achse dreht, die durch den Befestigungspunkt *u* des Fadens geht und auf der Zeichnungsfläche senkrecht steht. Dies hat zur Folge, dass die Verschiebung von *m* keine merkliche Aenderung der Spannung des Fadens *u t* bewirkt. Wenn Staubtheilchen in die Tinte gerathen, was nie ganz zu vermeiden ist, kann durch diese eine Verstopfung des Hebers bewirkt werden. Dann bleibt nichts übrig, als denselben auszuwechseln, was in sehr einfacher Weise bewerkstelligt werden kann. Jede Station ist mit einem Vorrathe von leicht schmelzbaren Glasröhren ausgestattet. Durch Ausziehen über einer Spiritus- oder Gaslampe erhält man zweckdienliche dünne Röhrchen, die in vorgeschriebener Länge abgeschnitten werden. Um aus einem solchen Röhrchen den Heber zu formiren, muss dasselbe zweimal rechtwinkelig gebogen werden. Zu diesem Zwecke hält man das Röhrchen horizontal und bringt unter die Stelle, an welcher die Biegung erzeugt werden soll, ein kleines Stückchen glühende Kohle.*) Sofort wird das Glas weich, und vermöge der eigenen Schwere sinkt der eine Theil der Röhre in die verticale Stellung nieder.

In gleicher Weise erzeugt man das zweite Knie und die Abbiegung an der Spitze. Die letztere muss mattgeschliffen werden, damit bei einer allenfalls stattfindenden Berührung zwischen Heberspitze und Papierstreifen der letztere nicht durch eine scharfe Glaskante verletzt werde.

*) Es genügt die glimmende Kohle eines ausgeblasenen Zündhölzchens.

Für kurze Linien verwendet man weitere Heberrohre, aus denen die Tinte schon vermöge der eigenen Schwere ausfliesst. In diesem Falle ist die Elektrisirung derselben unnöthig und die mouse-mill entfällt.

Soll der Apparat auf einige Stunden ausser Thätigkeit gesetzt werden, so unterbricht man den Strom in den Elektromagnetspulen und bringt die elektrische Mühle zum Stehen. Der Heber wird aus der Flüssigkeit genommen und vollständig entleert, damit nicht durch Eintrocknen der Tinte eine Verstopfung der feinen Röhre eintrete. Die letztere Operation ist ziemlich heikel und führt leicht zur Beschädigung des Hebers.

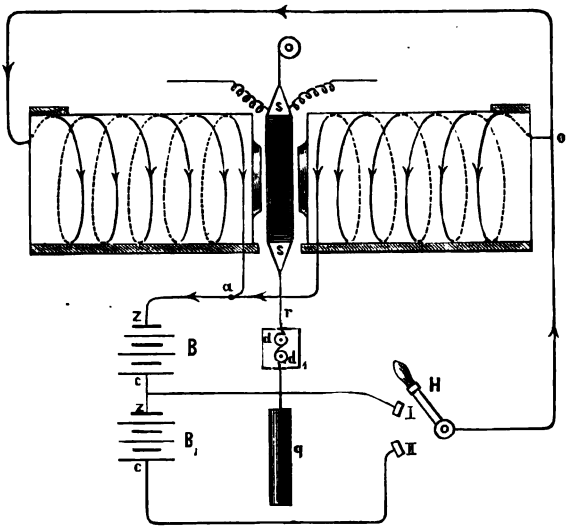
Wenn der Apparat nur kurze Zeit stillsteht, zieht man es daher vor, den Heber in der Flüssigkeit zu belassen. Dann muss auch die mouse-mill ununterbrochen in Thätigkeit sein. Nur der Strom für die Elektromagnete darf unterbrochen werden. Den Papierstreifen lässt man entweder stillstehen, wobei sich dann die ausfliessende Tinte in einem grossen Tropfen ansammelt, oder man ertheilt dem Streifen eine möglichst langsame fortschreitende Bewegung, indem man die Transmissionsschnur $J''$ $J'''$ (Fig. 73, S. 224) auf die kleinste der Rollen $J''$ auflegt. Um an Papier zu sparen, hat man auch ein endloses Papierband von beiläufig 2 m Länge in Anwendung gebracht.

Die Stromschaltung der Elektromagnete ist in Fig. 77 dargestellt.

Vom negativen Pol $Z$ der Batterie $B B_1$ führt die Leitung zum Punkte $a$, und verzweigt sich rechts und links um die beiden Elektromagnetschenkel. Die Leitungszweige vereinigen sich im Punkte $o$, von dem ein Draht

zur Achse des drehbaren Hebels $H$ führt. Rückt man diesen auf die Contactlamelle $I$, so wird nur die eine Hälfte $B$ der Batterie $B\,B_1$ eingeschaltet. Contact $II$ lässt die ganze Batterie wirksam werden. Die Spannvorrichtung, welche dem Rähmchen $s\,s$ eine bestimmte Anfangslage verleiht, ist hier etwas anders als in Fig. 75

Fig. 77.



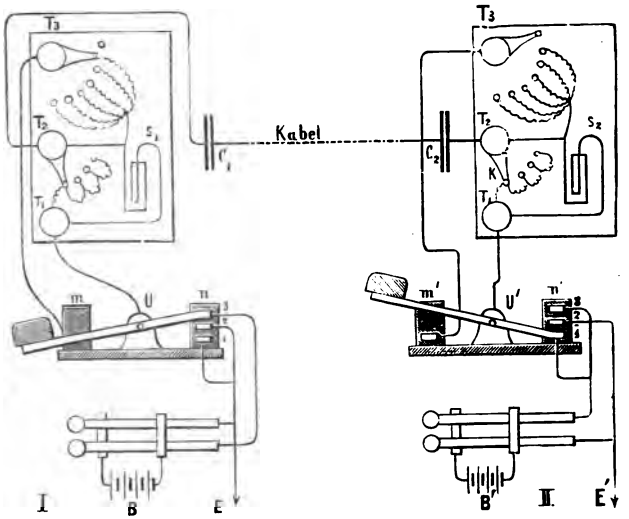

dargestellt. Die beiden unteren Spannfäden $r$ (von denen in der Figur nur der eine sichtbar ist) laufen über zwei Walzen $d$ $d_1$ und werden durch die freihängenden kleinen Gewichte $q$ straff angezogen.

Fig. 78 stellt die Schaltung zweier mit Syphon-Recorders ausgestatteten Kabelstationen dar.

Auf jeder Station befindet sich ein Doppeltaster, ein Umschalter *(U U')*, eine Batterie *(B B')*, ein Heber-

schreiber und ein Condensator ($C_1$ $C_2$). Die rahmenförmigen beweglichen Drahtspulen sind mit $s_1$ und $s_2$ bezeichnet. In der gezeichneten Anordnung spricht Station *I* nach *II*. Die Klemmschrauben $T_1$ sind mit den Pivots der metallenen Umschaltehebel $U$ $U'$ verbunden. Die Enden dieser Hebel schleifen auf Ebonitprismen $m$ $n$, $m'$ $n'$.

Fig. 78.




Die Prismen $m$ $m'$ tragen je einen Metallcontact, der mit $T_3$ leitend verbunden ist. Auf den Prismen $n$ $n'$ befinden sich je drei Contacte 1, 2, 3, von denen der mittlere als Entladungscontact dient und bei jeder Umstellung des Umschaltehebels von diesem gestreift wird. Contact 2 ist mit der Erde verbunden. Die Verbindung der Contacte 3 und 1 ist aus der Figur ersichtlich. Die Doppeltaster

sind ebenso eingerichtet wie jene, welche zum Betriebe der Linien mit Spiegelgalvanometern dienen.

Die Aufzeichnung der Depesche geschieht sowohl in der empfangenden als auch in der gebenden Station durch den Heberschreiber. Da aber die Intensität des abgehenden Kabelstromes weit grösser ist als die des ankommenden, so darf auf der gebenden Station nur ein Stromzweig zum Heberschreiber geführt werden. Der bei 3 eintretende (positive oder negative) Strom verzweigt sich bei $U$ und geht theils zur Klemme $T_1$, theils über $m$ nach $T_3$. In $T_1$ findet eine zweite Stromverzweigung statt. Ein Theil des Stromes passirt den schwingenden Rahmen $s_1$ und veranlasst diesen, die Zeichen auf der eigenen Station niederzuschreiben. Der andere Stromtheil geht durch den veränderlichen Nebenschluss $T_1$ $T_2$, dessen Widerstand mehrere hundert Ohms beträgt. An der Achse $T_3$ sitzt ein drehbarer Hebel, der über mehreren Contactpunkten bewegt werden kann, wodurch Widerstände bis zu acht Ohms eingeschaltet werden. Da der Widerstand im Zweige $m$ $T_3$ $T_2$ weit geringer ist als jener im Doppelzweige $T_1$ $T_2$, so passirt den letzteren nur ein sehr geringer Bruchtheil des Gesammtstromes, der gerade hinreicht, den Heberschreiber der eigenen Station in Bewegung zu setzen. In der empfangenden Station ruht der Hebel von $T_3$ auf einem isolirten Contact und der Strom findet nun die einfache Verzweigung über $T_2$ $k$ $T_1$ und $T_2$ $s_2$ $T_1$ offen. Vergrössert man den Widerstand im Zweige $T_1$ $k$ $T_2$, so vermehrt man dadurch die Stromintensität in $s_2$, und wenn man die Verbindung $T_1$ $k$ $T_2$ unterbricht, passirt der ganze Kabelstrom ausschliesslich das Rähmchen $s_2$.

Mr. Andrew Jamieson, früher Elektriker der Eastern-Telegraph-Company, hat an den Constructionsdetails des Syphon-Recorders einige nicht unwesentliche Verbesserungen angebracht. An Stelle des Glaskästchens, welches die elektrische Mühle umschliesst, verwendete Jamieson eine Glasglocke, die mit ihrem mattgeschliffenen Rande auf der metallenen Unterlagsplatte der mouse-mill festsitzt. Dadurch ist der vollständige Abschluss von Staub und Feuchtigkeit mit grosser Sicherheit gewährleistet.

Auch den Stromunterbrecher hat Jamieson in sinnreicher Weise modificirt und dadurch dessen Dauerhaftigkeit bedeutend erhöht. Fig. 79 zeigt denselben im Grund- und Aufrisse.

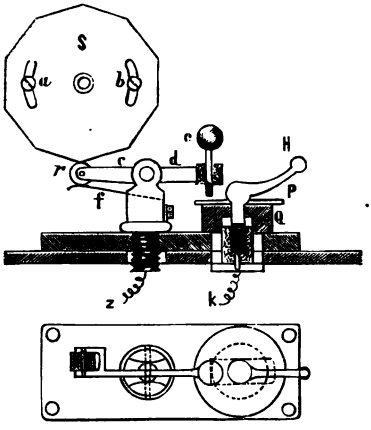
Wir finden die zehneckige Scheibe *S* (vergl. Fig. 72), die auf einer zweiten, mit der Achse der mouse-mill fest verbundenen Scheibe, durch die Schrauben *a* und *b* fixirt ist.

Die länglichen, krummlinig begrenzten Löcher, in denen die Schraubenbolzen *a* und *b* stecken, gestatten eine Verstellung der Scheibe *S*. Dieselbe wirkt auf eine Ebonitrolle *r*, deren Drehungsachse an dem einen Ende eines leichten zweiarmigen Hebels *c d* aus Aluminium befestigt ist. Das andere Hebelende trägt die mit einem Ebonitgriff versehene Schraube *e* aus Platin. Eine Feder *f* drückt das linksseitige Hebelende gegen die Scheibe *S*. Rotirt die Scheibe, so beginnt der Hebel *c d* zu oscilliren. Dabei berührt beim Niedergange des rechten Hebelarmes die Spitze der Schraube *e* eine kreisförmige Platinplatte *P*, die auf einer kupfernen Unterlage *Q* durch die Schraube *H* festgehalten wird.

Bei geschlossenem Contacte geht der Strom von $Z$ über die Drehungsachse des Hebels $c\ d$ zum Platinstifte $e$, in die Platte $P$ und durch das Kupferstück $Q$ nach $K$.

Durch Drehung des Handgriffes $H$ um $90^0$ wird die Platinplatte $P$ frei beweglich. Hat nun nach längerem Gebrauche die Contactfläche $P$ durch die bei jeder Stromunterbrechung entstehenden Funken eine kleine Höhlung

Fig. 79.




erhalten, so lüftet man die Schraube $H$ und dreht die Platinplatte $P$ ein wenig, bis eine noch unversehrte Partie der Oberfläche unter die Spitze der Schraube $e$ kommt. Man kann auf diese Weise die ganze Peripherie eines Kreises auf der Platinplatte ausnützen. Ist dies geschehen, so lässt sich die Platte umwenden, so dass eine Auswechslung erst dann eintreten muss, wenn beide Flächen abgenützt sind. Da die elektrische Mühle 100 bis 125 Umläufe in der Minute macht, erfolgen in dieser Zeit

1000 bis 1250 Stromunterbrechungen. Am Ende des Zuleitungsdrahtes *P* (Fig. 73, S. 224) ist eine Kugel angebracht, von der ein Papierstreifen zur Platte *O* führt. Die Veränderung der Länge dieses Streifens ermöglicht in höchst einfacher Weise die Regulirung der elektrischen Spannung im Tintengefässe.

Wir verzichten auf die weitere Besprechung der von Jamieson vorgenommenen constructiven Verbesserungen und verweisen diesbezüglich auf eine von Ternant veröffentlichte Monographie über den Syphon-Recorder. (Paris, Masson, 1882.)

Ursprünglich benützte Thomson zur Erzeugung des magnetischen Feldes kräftige Stahlmagnete, und er hat dieselben auch bei seinen neuesten Apparaten wieder zur Anwendung gebracht.

Das Titelbild zeigt die neueste Gestalt des Syphon-Recorders. Die Anordnung der Bestandtheile ist mit Berücksichtigung möglichster Raumersparniss getroffen, und die kostspielige Batterie zur Anregung der Elektromagnete entfällt vollständig.

Ein derartiger Apparat war auf der internationalen elektrischen Ausstellung zu Wien 1883 durch die Eastern-Telegraph-Company ausgestellt.

Es bedeuten: *K* eine Platte, welche von der elektrischen Mühle die zur Elektrisirung der Tinte nöthige Elektricität empfängt; *N S* Pole des aus 50 Stäben von je 1 $cm^2$ Querschnitt zusammengesetzten Stahlmagnetes; *F* Tintengefäss; *s* schwingender Rahmen; *S i* Heber. Die Bedeutung der übrigen Details dürfte durch einen Vergleich mit den Fig. 73 und 74 klar werden.

Die Sprechgeschwindigkeit des Syphon-Recorders übertrifft bedeutend jene des Galvanometers und beträgt 30 Worte per Minute, bei einer Kabellänge von 600 bis 700 km.

Die Eastern-Telegraph-Company bedient sich auf den meisten Linien ihres weitverzweigten Kabelnetzes des Heberschreibers. Auch bei anderen Gesellschaften ist derselbe vielfach in Verwendung genommen worden, und nur die hohe Patentgebühr hat seine allgemeine Einführung bisher verhindert

Zum Betriebe kürzerer Linien*) dient ein Heberschreiber mit Stahlmagneten. Die Heberspitze gleitet mit sanfter Reibung auf dem durch ein Uhrwerk fortbewegten Papierstreifen.

Das Heberröhrchen ist so weit, dass die Tinte vermöge des hydrostatischen Druckes ausfliesst. Somit entfällt bei diesen Apparaten die mouse-mill.

### 6. Undulator von Lauritzen.

Die grosse nordische Telegraphen-Gesellschaft, welche in der Nord- und Ostsee, sowie in den chinesischen Gewässern ein vielverzweigtes Kabelnetz besitzt, verwendet zum Betriebe ihrer Linien einen Apparat, der in mancher Hinsicht dem Thomson'schen Heberschreiber ähnlich ist und von dem Elektriker der Gesellschaft, Herrn Lauritzen, angegeben wurde.**)

---

*) Z. B. Frankreich—Algier (Marseille—Bona).

**) Vergl. »Zeitschrift für Elektrotechnik«, herausgegeben vom Elektrotechnischen Verein in Wien. A. Hartleben. 1882. S. 364.

Der Apparat war in der dänischen Abtheilung der internationalen elektrotechnischen Ausstellung (1883) exponirt.

Fig. 80 und 81 zeigen die Schnitte des Apparates durch eine horizontale und eine verticale Ebene. Zwischen den acht Polen der vier Elektromagnete *I II III IV* ist ein aus vier gekrümmten Stahlstäbchen bestehendes magnetisches System, in den Achslagern $A_1$ und $A_2$ mit sehr geringer Reibung drehbar. Wie aus Fig. 80 zu entnehmen ist, erhalten die benachbarten Enden der Elektromagnetkerne entgegengesetzte Polarität.

Fig. 80.

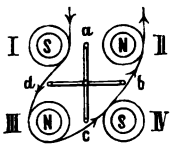
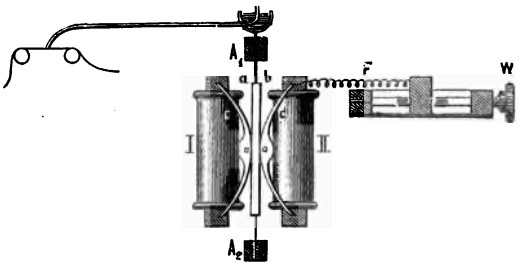



Fig. 81.




Je zwei Elektromagnete sitzen auf einer gemeinsamen Metallschiene *s s* (Fig. 82) fest.

Die mit der Schraube *W* regulirbare Spannfeder *F* (Fig. 81) gestattet die Empfindlichkeit des Apparates zu modificiren und verleiht dem magnetischen Systeme *a b c d* eine bestimmte Anfangslage.

Der Gesammtwiderstand der Elektromagnetwindungen beträgt beiläufig 1000 Ohm.

Wenn kein Strom die Elektromagnetwindungen

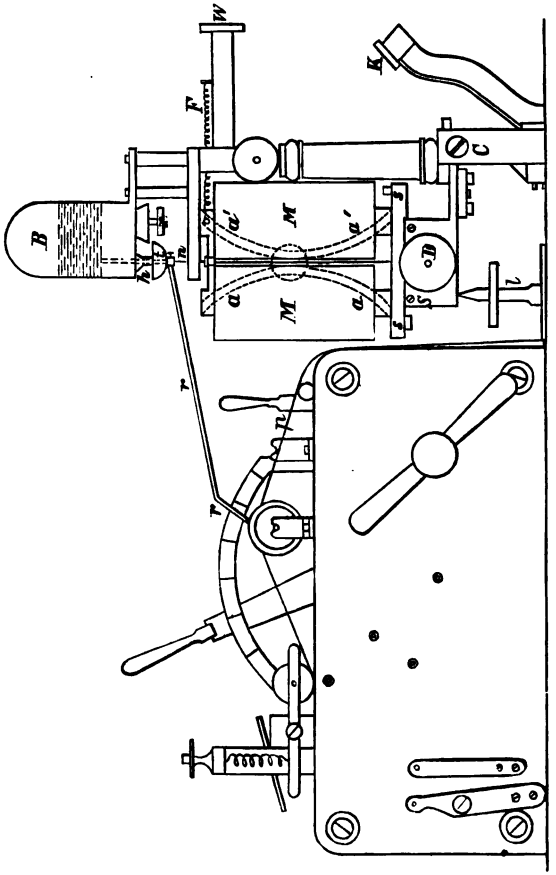



Fig. 82.

durchfliesst, so sind die Eisenkerne nahezu unmagnetisch und die Magnetstäbchen *a a'* (Fig. 82) folgen dem Zuge

der Spannfeder *F*. Setzen wir nun voraus, dass die oberen Enden der Stäbchen *a* und *c* (Fig. 80) südmagnetisch, jene der Stäbchen *d* und *b* permanent nordmagnetisch seien. Sobald ein Strom in der Richtung der Pfeile (Fig. 80) die Elektromagnetkerne umfliesst, tritt die in Fig. 80 angezeigte Polarität der Eisenkerne ein. Der Südpol *a* wird von *N II* angezogen, von *S I* abgestossen. Der Nordpol *d* hingegen wird von *S I* angezogen, von *N III* abgestossen u. s. w. Der Strom hat also das Bestreben, das Magnetbündel *a b c d* (Fig. 80, S. 240) im Sinne der Uhrzeigerbewegung zu drehen. Die Umkehrung des Stromes bewirkt eine Drehung in entgegengesetztem Sinne.

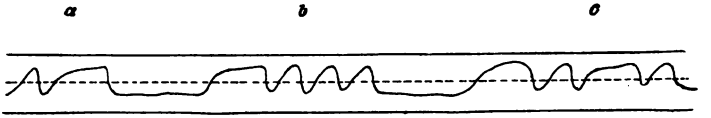
An der Achse $A_1$ $A_2$ (Fig. 81) ist ein Messingblöckchen *n* (Fig. 82) mit einer kleinen Schraube festgeklemmt. Dasselbe trägt ein sehr enges silbernes Rohr *r r* (Fig. 82), welches die Undulationen des Magnetbündels *a b c d* (Fig. 80) mitmacht. Ueber der Achse $A_1$ $A_2$ befindet sich die Mündung des Tintenreservoirs *B**), in welches das obere Ende des Schreibrohres *r r* hineinragt. Die Ausflussröhre *h* ist nur um Weniges weiter als das Röhrchen *r*, so dass die Tinte vermöge der Capillarität am directen Ausfliessen gehindert ist und nur durch das Röhrchen *r* langsam abfliessen kann. Von der unteren Mündung des Röhrchens *r* gelangt die Tinte auf einen Papierstreifen, der durch ein Uhrwerk mit gleichförmiger Geschwindigkeit vorbeigezogen wird. So lange kein Strom vorhanden ist, entsteht auf dem Papierstreifen eine gerade Linie. Durch positive und

*) Als Schreibeflüssigkeit dient mit Weingeist verdünnte Anilinfarbe.

negative Ströme wird die Röhre *r* zu seitlichen Schwankungen veranlasst und zeichnet Wellenlinien auf, aus denen sich das Thomson'sche Alphabet (Fig. 70, S. 218) sofort zusammensetzen lässt. Will man nur mit einer Stromrichtung arbeiten, so verwendet man ein dem Morse'schen ähnliches Alphabet, in welchem Striche durch lange Wellen mit breitem Rücken, Punkte durch kurze, steile Wellen ausgedrückt werden (Fig. 83).

Lauritzen's Undulator wird zumeist auf Kabeln mittlerer Länge (4—800 engl. Meilen) verwendet und gibt 80 Worte per Minute.

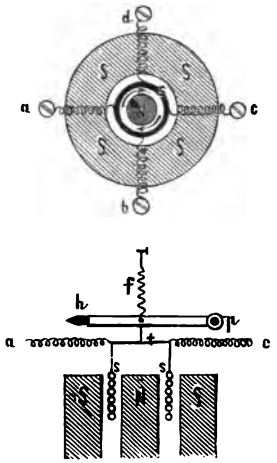
Fig. 83.




Ist das Niveau der Tinte bis zur oberen Mündung der Röhre *r r* gesunken, so hebt man das Gefäss *B* vorsichtig ab, entfernt die Verschlussschraube *x* und giesst durch die so frei gewordene Oeffnung frische Tinte nach. Tintentröpfchen, welche während dieser Operation allenfalls ausfliessen, werden durch das Schälchen *t* aufgefangen. Zur feinen Einstellung des magnetischen Systems dient die Schraube *D*, durch welche mittelst zweier entgegengesetzt geschnittener Gewinde die Elektromagnetträger *s s* (von denen nur der eine in Fig. 82 sichtbar ist) einander genähert oder von einander entfernt werden. Durch die Schraube *l* kann der ganze Apparat um die horizontale Achse *C* gedreht werden.

Mit Hilfe dieser Schraube regulirt man auch die Entfernung zwischen dem Papierstreifen und der Mündung der Röhre *r r*.

Fig. 84.




Soll der Apparat ausser Betrieb gesetzt werden, so hemmt man das Uhrwerk und kippt den Schreibapparat um die horizontale Drehungsachse *C* nach rechts um. Derselbe lehnt sich dann auf das Kautschukkissen *K*. Gleichzeitig geräth die Röhre *r* in eine andere Lage, so dass die Tinte aufhört, auszufliessen.

Mit dem Undulator kann bei Einschaltung eines Leclanché-Elementes in einem Stromkreise von 30.000 Ohm Widerstand noch deutlich gesprochen werden.

## 7. Russschreiber von Siemens.

Wir haben gesehen, dass bei Thomson's Syphon-Recorder die drehende Bewegung eines Stromleiters in einem magnetischen Felde zur Bildung telegraphischer Zeichen ausgenützt wird.

Siemens verwendet in ähnlicher Art die fortschreitende Bewegung einer ringförmigen Spule in einem ebenfalls ringförmigen magnetischen Felde.

Die Spule *s* (Fig. 84) hängt unter Vermittlung des Trägers *t* an einer Spiralfeder *f*. Vier horizontal ge-

spannte Spiralfedern *a b c d* centriren die bewegliche Rolle im magnetischen Felde *N S*.

Zwei von diesen Federn, *a* und *c*, besorgen zugleich die Stromzuleitung. Passirt ein Strom die Spule *s* in der, in Fig. 84 durch Pfeile angedeuteten Richtung (Uhrzeigerbewegung), so wird die Spule nach aufwärts getrieben, bei umgekehrter Stromrichtung hingegen noch tiefer in das ringförmige magnetische Feld hineingezogen.

An der Feder *f* ist ein sehr leichter Schreibhebel befestigt, der sich um den fixen Punkt *p* dreht und mit seiner Spitze (aus Schildpatt) auf einem berussten Papierstreifen gleitet, der durch ein Uhrwerk langsam vorbeigezogen wird.

Die Verschiebungen der Spule sind sehr nahe den Stromstärken proportional. So lange die Spule stromlos ist, zieht die Schreibspitze des Hebels *h* auf dem Papierstreifen eine gerade Linie. Geräth die Spule durch Ströme aus ihrer Ruhelage, so bewegt sich auch die Schreibspitze nach auf- oder abwärts und verzeichnet die Stromcurve. Mit Hilfe dieses Apparates hat Siemens experimentell gezeigt, dass die von Thomson durch Rechnung ermittelte Gestalt der Curve des ansteigenden Stromes in der That den wirklichen Verhältnissen des Stromlaufes im Kabel entspricht.

Obwohl hauptsächlich für wissenschaftliche Untersuchungen bestimmt, eignet sich der Apparat auch ganz gut zum Telegraphiren mit Wechselströmen, die man durch einen gewöhnlichen Doppeltaster erzeugen kann. Der Schreibhebel zeichnet dann wellenförmige Linien auf dem berussten Papierstreifen auf, aus denen sich das ganze Thomson-Alphabet combiniren lässt.

Fig. 85 zeigt die Gesammtanordnung des Russschreibers mit den zugehörigen Nebenapparaten. In einem langen hölzernen Kasten, welcher das Gestell des Appa-

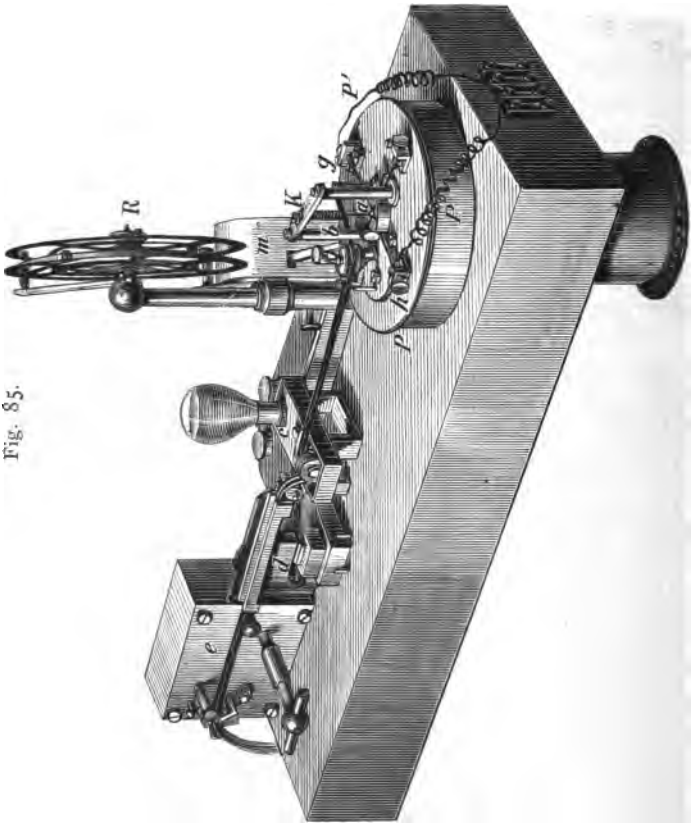



Fig. 85.

rates bildet, ist ein topfartig aussehender Metallkörper eingesetzt, dessen unteres Ende aus dem Kasten hervorragt; derselbe enthält das Magnetsystem, die den Strom

leitende bewegliche Spule mit Aufhängung und Schreibstift und eine bewegliche Messingrolle, über welche das berusste Papierband fortgleitet.

Das magnetische Feld wird entweder aus permanenten Stahlmagneten oder aus Elektromagneten gebildet.

An dem Blechkreuze *a* hängt die elektrodynamische Spule. Das Kreuz *a* wird von einer Spiralfeder getragen, die an dem Messingständer *K* befestigt ist.

Die zur Centrirung und Stromzuleitung dienenden feinen Drähte *abcd* (Fig. 84) können durch vier Schrauben*) (Fig. 85) mehr oder weniger gespannt werden. Die Schrauben *g* und *h* dienen zugleich zur Stromzuleitung und sind mit den Drähten *P P'* verbunden. Das zu berussende Papier ist auf einer Rolle *R* nach Art des Telegraphenpapieres aufgesteckt. Von der Rolle *R* läuft das Papier über eine im Gehäuse *m* verborgene Metallrolle, unter welcher eine Petroleumflamme brennt, die das Papier berusst. Das Papier legt sich fest an die Metallwalze, welche ihm soviel Wärme entzieht, dass es nicht verbrennen kann. Der frisch berusste Papierstreifen geht an der Schreibspitze vorbei, empfängt die telegraphischen Zeichen und wird dann behufs Fixirung der Zeichen in ein Bad *c* geleitet, das eine weingeistige Schellacklösung enthält. Sodann passirt der Streifen den Trockenapparat *d*, aus einem länglichen prismatischen Metallkästchen bestehend, das durch eine Spirituslampe erhitzt wird.

Die den Streifen umgebende heisse Luft lässt das Fixirmittel in kürzester Zeit eintrocknen. Ein Federuhrwerk *e* veranlasst die Fortbewegung des Papierstreifens.

*) In der Figur ist eine Schraube verdeckt.

Wenn das Uhrwerk arretirt wird, entfernt sich gleichzeitig die Petroleumlampe vom Papierstreifen und die Berussung wird so lange unterbrochen, als der Apparat stille steht.

Der Apparat arbeitet regelmässig und sicher. Die Petroleumlampe bedarf nur im Anfange einer Regulirung, bis alle Metalltheile erwärmt sind und eine stationäre Temperatur angenommen haben.

## 8. Gegensprechen auf Kabellinien.

Mit grossem Vortheil hat man auf den langen Unterseekabeln die Methode des Gegensprechens*) eingeführt. Die Depeschen werden gleichzeitig in entgegengesetzten Richtungen durch ein und dasselbe Kabel befördert, wodurch die Leistungsfähigkeit desselben nahezu verdoppelt wird. Als Beispiel führen wir das transatlantische Kabel der Direct-United-States-Cable-Company an, auf welchem mittelst einer von Dr. Muirhead angegebenen Gegensprechvorrichtung gearbeitet wird. Auch mehrere kürzere Kabellinien werden mit Gegensprechern betrieben, so z. B. die Linien Marseille—Malta, Bombay—Aden, Aden—Suez, Malta—Bona u. s. w.

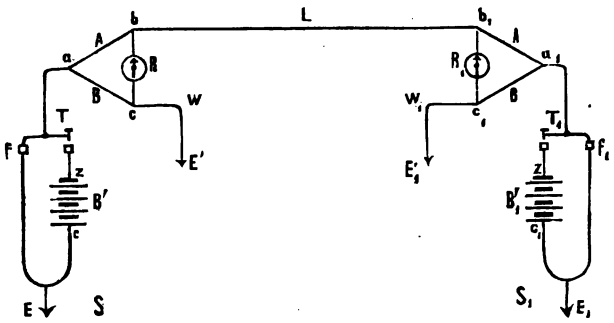
Die von Muirhead angewendete Gegensprechschaltung beruht auf dem Principe der Wheatstone'schen Brücke. Schon früher hatte Maron eine der Wheatstone'schen ähnliche Drahtcombination zum Gegensprechen auf Landlinien verwendet.

Fig. 86 zeigt das Schema der Maron'schen Gegensprechschaltung. $B$ und $B_1$ sind Batterien von gleicher

*) Vergl. Elektrotechnische Bibliothek, V. Bd., S. 229.

elektromotorischer Kraft, $T$ $T_1$ einfache Morsetaster, $R R_1$ Relais (Sprechgalvanometer). Drückt man auf den Knopf des Tasters $T$, so geht der Strom von $E$ (Erdleitung) über $B'$ nach $a$ und verzweigt sich über $a b$ und $a c$. Ein Theil fliesst durch einen grossen Widerstand $W$ nach $E'$ (Erde), ein anderer Theil geht über $L$ (Leitung) nach $b_1$, verzweigt sich daselbst und geht zum Theile über $R_1 c_1$ zur Erde $E'_1$. Ein zweiter Stromzweig geht von $b_1$ über

Fig. 86.




$a_1$ nach $E_1$. Dabei muss das Relais (oder Galvanometer) $R$ der gebenden Station stromlos bleiben und die Diagonale $P Q$ (Fig. 87) einer Wheatstone'schen Brücke bilden.

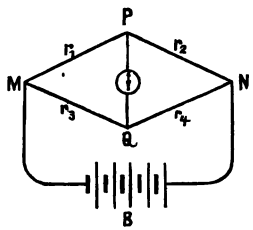
Bezeichnen wir mit $r_1, r_2, r_3, r_4$ die Widerstände der Viereckseiten, mit $r$ den Widerstand der Diagonale $P Q$, mit $R$ den Widerstand der Batterie und der Leitungsdrähte $MBN$, mit $E$ die elektromotorische Kraft der Batterie $P$.

Die Brücke bleibt stromlos, wenn $\frac{r_1}{r_3} = \frac{r_2}{r_4}$.

Bei Maron's Schaltung (Fig. 86) bildet das Dreieck $abc$ die eine Hälfte des Wheatstone'schen Viereckes. An Stelle der Seite $QN$ (Fig. 87) tritt die Erdleitung $cE'$. Die Seite $PN$ wird durch die Telegraphenleitung und die Stromzweige auf Station $S'$ gebildet.

Bezeichnen wir in Fig. 86 die Widerstände $ab = a_1 b_1$ mit $A$, $ac = a_1 c_1$ mit $B$, $bc = b_1 c_1$ mit $D$, $bb_1$ mit $L$, den Erdleitungswiderstand $cE' = c_1 E_1'$ (der ziemlich gross gemacht werden muss) mit $W$, den Erdleitungswiderstand $aTf = a_1 T_1 f_1$ mit $w$. Der Widerstand der Leitungscombination zwischen $b_1$ und $E_1'$, $b_1$ und $E_1$ mag mit $\mathfrak{W}$ bezeichnet werden. Die Diagonale $bc$ ist stromlos, wenn

Fig. 87.




$$A:B = L + \mathfrak{W}:W \quad \ldots \quad 1$$

Die Drahtcombination

$$- b_1 < \frac{a_1 - E_1}{c_1 - E_1'} > \text{Erde} -$$

bildet ebenfalls ein Wheatstone'sches Viereck. Um ihren Widerstand zu berechnen, gehen wir zu Fig. 87 zurück. Das Viereck $MPQN$ lässt sich durch einen einzigen Draht ersetzen, dessen Widerstand $\mathfrak{W}$ folgenden Werth besitzt:

$$\mathfrak{W} = \frac{r(r_1+r_2)(r_3+r_4)+r_1 r_2(r_3+r_4)+r_3 r_4(r_1+r_2)}{r(r_1+r_2+r_3+r_4)+(r_1+r_3)(r_2+r_4)} \quad \ldots \quad 2$$

Auf Fig. 87 übergehend, ersetzen wir der Reihe nach die Werthe

| $r$ | $r_1$ | $r_2$ | $r_3$ | $r_4$ | durch |
|---|---|---|---|---|---|
| $B$ | $A$ | $w$ | $D$ | $W$. | |

Aus Gleichung 1 ergibt sich dann

$$\frac{A}{B} = \frac{L}{W} +$$

$$\frac{B(A+w)(D+W)+Aw(D+W)+DW(A+w)}{[B(A+w+D+W)+(A+w)(D+W)]W} \quad \ldots 3$$

Auf langen Kabeln sind $W$ und $L$ vielmal grösser als $A$, $B$, $D$ und $w$, so dass man in den Summen, welche $W$ enthalten, die übrigen Grössen vernachlässigen kann.*) Man kann dann statt Gleichung 3 einfach schreiben:

$$\frac{A}{B} = \frac{L}{W} + \frac{(A+w)(D+B)+Aw}{(A+B+w)W}.$$

Sind $A$, $B$, $D$, $L$ und $w$ gegeben, so lässt sich sofort $W$ ausrechnen. Hat man die Widerstände in einer, der obigen Formel entsprechenden Weise regulirt und drückt man $T$ nieder, so bleibt $R$ stromlos, während $R_1$ anspricht. Somit beeinflussen die gegebenen Zeichen keineswegs den Empfänger der eigenen Station. Telegraphiren beide Stationen, so können folgende Fälle eintreten:

1. $T$ und $T_1$ befinden sich in Ruhe; dann sind $R$ und $R_1$ stromlos;

2. $T$ wird niedergedrückt, $T_1$ ruht; dann ist $R$ stromlos, $R_1$ spricht;

3. $T_1$ wird niedergedrückt, $T$ ruht; dann spricht $R$ allein;

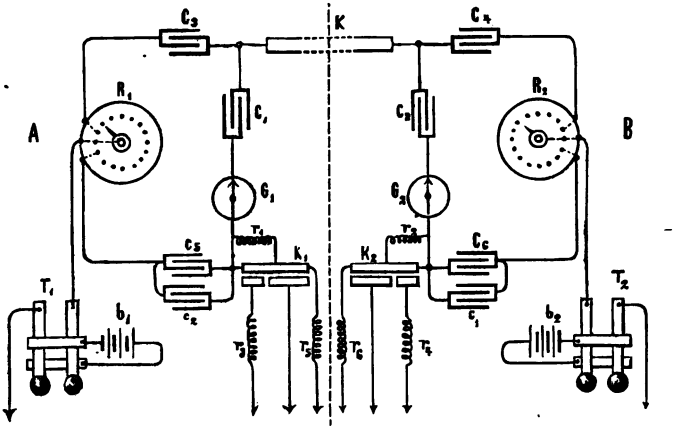
4. beide Taster sind niedergedrückt. In diesem Falle ist die Linie $L$, da die gleichnamigen Pole gleich starker Batterien nach $a$ und $a_1$ abgeleitet sind, stromlos. Von der Batterie $B$ geht der Strom nach $a$, verzweigt sich

*) $W$ und $L$ betragen viele tausend Ohm.

über $ac$ und $abc$ und durchströmt zum Theile das Relais $R$. Beide Relais sprechen. In jedem Falle bringt also das Niederdrücken der Tasten $T\,T_1$ die Relais $R\,R_1$ zum Ansprechen und umgekehrt.

Zur Ueberwindung von Ladungsströmen müssen auf langen Landlinien und insbesondere auf Unterseekabeln

Fig. 88.




nach einem von Stearns angegebenen Verfahren Condensatoren eingeschaltet werden.

Muirhead ersetzt die Erdleitungswiderstände $W$ durch künstliche Kabel und unterbricht die Leitungen $ab$, $bc$, $ca$; $a_1 b_1$, $b_1 c_1$, $c_1 a_1$ durch eingeschaltete Condensatoren, wodurch störende Erdströme wirkungslos gemacht werden. Der Widerstand $W$ wird durch ein eigenthümlich construirtes künstliches Kabel von hohem Widerstande und entsprechender Capacität gebildet.

Dr. Tobler hat im Aprilhefte der »Berliner Elektrotechnischen Zeitschrift« einen interessanten Aufsatz über die Einrichtungen transatlantischer Kabelstationen veröffentlicht, dem wir die nachstehenden speciellen Mittheilungen entnehmen.

Fig. 88 stellt eine von Muirhead angegebene Kabel-Gegensprechschaltung dar. Dieselbe führt den sonderbaren Namen »double block plan« und steht auf den meisten Linien der Eastern-Telegraph-Company, sowie auch auf dem Direct-United-States-Cable in Anwendung.

Die Dreiecksseiten $ab$, $ac$ (Fig. 86) werden durch die Condensatoren $C_3$ $C_5$ und den Kurbelrheostaten $R_1$ gebildet. Derselbe enthält 40 Rollen von je 0·25 Ohm Widerstand und ausserdem eine Rolle von 10 Ohm, die durch einen Stöpsel aus- und eingeschaltet werden kann. Jede Verschiebung der Kurbel (deren Drehpunkt mit dem Doppeltaster $T_1$ in Verbindung steht) von einem Contact zum nächstliegenden ändert das Verhältniss der beiden Brückenseiten um $\frac{1}{40}$. Ausserdem dient zur Herstellung des Gleichgewichtes der zu $C_5$ parallel geschaltete Condensator $c_2$, welcher Capacitäten von 0·01 bis 5 Mikrofarads einzuschalten gestattet. Der Empfänger $G_1$ ist nebst einem Condensator $C_1$ in die Diagonale der Brücke eingeschaltet.*)

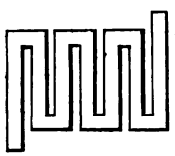
Von den Vereinigungspunkten $c$, $c_1$ (Fig. 86, S. 249) führen die künstlichen Kabel $K_1$ $K_2$ (Fig. 88) zur Erde. Dieselben müssen wie gewöhnliche Kabel einen entsprechenden Widerstand und eine bestimmte Capacität besitzen und werden nach einem, den Herren Dr. Muir-

*) $C_1$, $C_3$, $C_5$ enthalten meist 40—60 Mikrofarads.

head und A. H. Taylor 1874 patentirten Verfahren aus Stanniol hergestellt. Die Elemente des künstlichen Kabels enthalten einen eigenthümlich geschnittenen Stanniolstreifen (Fig. 89), der auf ein Stück paraffinirtes Papier von 55 cm Länge und 37 cm Breite aufgeklebt wird.

Auf die so präparirte Tafel kommt eine doppelte Lage Paraffinpapier und darüber ein Blatt Stanniol (Capacitätsplatte). Es ergibt sich nun sofort, dass der Stanniolstreifen (Fig. 89) dem Kupferwiderstande des Kabels, die Papierschicht der dielektrischen Isolirung und die Stanniolbelegung der metallenen Kabelhülle entspricht. Wenn man nun eine sehr grosse Anzahl derartiger Elemente aufeinander schichtet und nach Bedarf die Enden der Streifen der einzelnen Abtheilungen, sowie auch die Capacitätsplatten mit einander verbindet, so ist die Möglichkeit gegeben, ein künstliches Kabel von beliebig hohem Widerstande und beliebiger Capacität herzustellen.

Fig. 89.



Wie aus Fig. 88 zu entnehmen ist, sind an verschiedenen Stellen der künstlichen Linien Nebenschlüsse eingeschaltet. So sind die ersten Capacitätsplatten von den übrigen getrennt und durch einen Widerstand $r_3$ mit der Erde verbunden; diese Anordnung hat den Zweck, eine Verzögerung der Ladung im ersten Theile der künstlichen Linie herbeizuführen. Die feinere Regulirung geschieht dann mit Hilfe eines Nebenschlusses $r_1$ von regulirbarem Widerstande*), dessen eines Ende mit dem Punkte, wo der Empfänger $G_1$ in die künstliche Linie $k_1$

*) 80.000 bis 100.000 Ohm.

mündet, das andere mit einer durch Versuche zu bestimmenden Abtheilung des Leiters der künstlichen Linie in Verbindung steht. Da ferner aus ökonomischen Gründen das künstliche Kabel stets geringwerthiger als das wirkliche genommen wird, hat es sich als nothwendig erwiesen, das Ende des leitenden Streifens durch einen Widerstand $r_5$ mit der Erde zu verbinden. Nach Muirhead gelingt es in einzelnen Fällen, das Gleichgewicht mit Hinweglassung eines oder zweier der erwähnten Kunstgriffe herzustellen. Ganz wird man dieselben aber nie entbehren können.

Wird nun z. B. in Station $A$ eine der Tasten gedrückt, so geht ungefähr die eine Hälfte des Stromes über $C_5$ in das künstliche, die andere Hälfte über $C_3$ in das wirkliche Kabel $K$.

Damit nun der Empfänger $G_1$ stromlos bleibe, darf an den Enden des Brückendrahtes keine Potentialdifferenz herrschen, was man, wie schon erwähnt, mit Hilfe von $K_1$, $C_1$, $r_1$ und $r_3$ erreicht.

Auf der Empfangsstation $B$ wird ein Theil des Stromes über $C_4$ und $R_2$, ein anderer über $C_2$, $G_2$, $C_6$, $R_2$ und $G_2$, $K_2$ zur Erde gehen etc.

Die Methode bietet den grossen Vortheil, dass in erster Linie keine Drahtwiderstände (mit Ausnahme von $R_1$, $r_3$, $r_1$, $r_5$) nothwendig sind, welche ja stets eine gewisse Verzögerung des Stromes im Gefolge haben. Ferner ist das Kabel an beiden Seiten abgeschlossen, was nebst anderen Vortheilen eine Verdeutlichung der Zeichen bedingt.

Durch gewisse Modificationen lässt sich die beschriebene Methode auch für den Betrieb mit Thomson's

Heberschreiber einrichten, und verweisen wir bezüglich der technischen Details der Schaltung auf die oben citirte Abhandlung von Dr. Tobler.

* * *

Zum Schlusse sei noch bemerkt, dass zum Betriebe der beschriebenen Kabelsprechapparate mehrfach automatische Zeichensender mit Laufwerk vorgeschlagen worden sind, durch welche beim Niederdrücken einer Taste zwei oder mehrere Ströme von verschiedener Dauer und Richtung in das Kabel gesendet werden. Die Verhältnisse der Stromzeiten waren so gewählt, dass das am empfangenden Ende des Kabels auftretende Zeichen möglichst scharf und kurz werden sollte. Zu dieser Gattung gehören der 1865 für das atlantische Kabel vorgeschlagene Curb-Key von Thomson und Varley*), sowie der Kabelschlüssel von Siemens und Halske, der auf dem Direct-United-States-Cable versuchsweise in Verwendung stand.

Auch der Curb-Sender von Thomson und Jenkin**), der eine dem Wheatstone'schen Automaten ähnliche Einrichtung besitzt, konnte die Leistungsfähigkeit langer Kabellinien nicht wesentlich erhöhen und ist nur versuchsweise in Anwendung gekommen, weshalb wir auf eine nähere Beschreibung desselben verzichten.

---

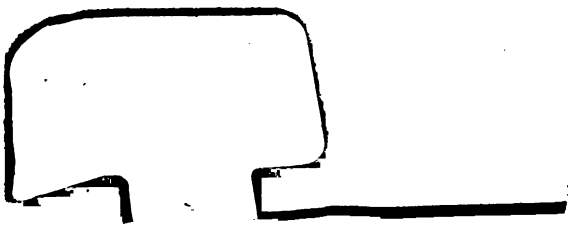
*) Schellen, Das atlantische Kabel.

**) Ternant, a. a. O.

FEB 1 1886

FEB 10 189

1892



Eng 4258.84
Die Kabeltelegraphie /
Cabot Science
005519055
3 2044 091 879 205